Bildungs-Halle

im

Sinne und Geiste unserer Zeit.

Für alle Stände.

> Ihr werdet die Wahrheit erkennen und die Wahrheit wird euch frei machen.
>
> Ev. Joh. 8, 32.

Vierter Band:

Die Erde als Weltkörper.

Leipzig
Verlag von Otto Wigand.
1853.

Die Erde

in ihrem Verhältniß

zum

Fixsternhimmel, zur Sonne und zum Mond.

Ein wissenschaftliches Lesebuch zum Selbstunterricht.

Von

Dr. J. Meyer.

Mit 10 Tafeln Abbildungen.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1853.

Vorwort.

Die astronomischen Beziehungen unsers Planeten zu dem gestirnten Himmel und einzelnen Weltkörpern unsers Sonnensystems sind in den letzten Jahren der Mehrzahl der Gebildeten in verschiedenen Werken zum leichteren Verständniß gebracht worden, unter denen vorzüglich die Schriften zu Alex. v. Humboldt's Meisterwerk eine allgemeine Verbreitung gefunden haben. Diese Schriften haben zum Zweck, die Voraussetzungen im Kosmos und die oft kurzen Andeutungen eines ganzen physikalischen Lehrstückes zu erklären, sowie die Lücken auszufüllen, welche das Werk v. Humboldt's denjenigen Leser empfinden läßt, der den Quellen ferner steht. Es kann aber nicht geleugnet werden, daß in denselben entweder keine streng wissenschaftliche Gliederung des bearbeiteten Materials, oder, wenn dies der Fall ist, keine einläßliche Beweisführung für die Gestalt und die verschiedenen Bewegungen und

Störungen des Erdkörpers vorliegt. Es lag dies unstreitig in der Absicht der Verfasser, und ich bin weit davon entfernt, mit meinen Bemerkungen irgend einen Tadel zu verbinden. Es schien mir daher eine neue Bearbeitung des astronomischen Theiles des Kosmos, mit vorwiegender Berücksichtigung der Erde, worin eine sachgemäße, zusammenhängende Anordnung des Stoffes mit einer ausführlicheren wissenschaftlichen Beweisführung verbunden würde, kein überflüssiges Unternehmen zu sein. Es war meine Absicht, den Leser nicht nur mit den Resultaten der astronomischen Beobachtungen und Forschungen, sondern soviel als möglich mit diesen Beobachtungen und Forschungen selbst, sowie mit den Ursachen der allgemeinen Naturverhältnisse unsers Planeten bekannt zu machen, wobei ich aus der Geschichte der Astronomie soviel in meine Darstellung aufgenommen habe, als mir mit dem ausgesprochenen Zwecke vereinbar schien. Es mußte daher jeder Gegenstand in seine natürliche Verbindung mit anderen gebracht und die noch unsichere Ueberzeugung in diesen Dingen auf die sichere Grundlage des objectiven Beweises zurückgeführt werden. Und wenn die unabänderlichen Naturgesetze in der veränderlichen, unendlich vielfältigen Endlichkeit das einzige Beständige sind, so hoffe ich, dieses vornämlich an dem Gravitationsgesetze nachgewiesen zu haben, welches überall, in den geringfügigsten Erscheinungen wie in den großen Bewegungen der Weltkörper, das Bestimmende und Ordnende ist.

Die Leser, für welche ich geschrieben habe, sind Gebildete, die für die hier behandelten Gegenstände ein hinlängliches Interesse haben, um eine wissenschaftliche Einsicht in dieselben zu suchen, soweit diese ohne Beihülfe der mathematischen Analyse erreichbar ist. Aber auch ohne diese, welche oftmals den Verstand am Ende mehr überwältigt, als

innig überzeugt, ist eine solche Einsicht möglich. Wo Erklärungen aus dem Gebiete der Hülfskenntnisse nöthig waren, habe ich sie meistens mit der Darstellung verwoben und nur die Elemente der Geometrie vorausgesetzt. Die Paragrapheneintheilung habe ich gewählt, um bei den nöthigen Citaten Zeit und Raum zu ersparen und das Nachschlagen zu erleichtern. Sie hindert nicht, daß das Buch, wie der Titel sagt, ein wissenschaftliches Lesebuch bleibt, das, wie ich hoffe, überall eine leicht verständliche Lectüre darbietet. Die zahlreichen Figuren, die dem Buche beigegeben sind, werden überdies dazu beitragen, die Erklärungen und Beweise zu veranschaulichen.

Ich habe mir bei meiner Arbeit vornämlich die Meister der Wissenschaft zu Führern gewählt, dann aber auch diejenigen Werke benutzt, welche Alex. v. Humboldt's Kosmos hervorgerufen hat. Unter den letzteren führe ich an: den trefflichen Commentar, welchen wir von B. Cotta in seinen Briefen zum Kosmos erhalten haben, ferner den Kosmos und die reichhaltige Physik der Erde von Reuschle und T. Bromme's schönen Atlas zu Humboldt's Kosmos. Von den Hauptwerken nenne ich: Alex. v. Humboldt's Kosmos, J. Herschel's Lehren der Astronomie, Bessel's Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Mädler's populäre Astronomie und dessen astronomische Briefe, Airy's sechs Vorlesungen über Astronomie, Muncke's Handbuch der Naturlehre, 2. Theil; auch Germar's sechs Tafeln zur Erleichterung der Himmelskunde habe ich bisweilen benutzt. Von allen diesen Werken, und bei den Beweisen für die Gestalt und die Bewegungen der Erde vorzugsweise von denjenigen Herschel's und Airy's, habe ich vielfachen Gebrauch gemacht; und überall, wo die richtige und genaue Darstellung des Gegenstandes nicht nur das theoretische Wissen davon,

sondern ebenso sehr auch die eigene Anschauung desselben voraussetzt, habe ich es vorgezogen, den praktischen Astronomen, oft mit wörtlicher Anführung, den Gegenstand selbst darstellen zu lassen, weil mir bei der Ausarbeitung dieses Lesebuches der oben ausgesprochene Zweck stets die Hauptsache blieb. In wie weit ich denselben erreicht habe, muß ich dem Urtheil der Leser anheimstellen.

Inhaltsübersicht.

Einleitung.

Horizont. Scheinbare Bewegung der Sterne. Kreissystem. Polhöhe.

1. Ehe wir mit der eigentlichen Betrachtung der verschiedenen Gegenstände am Himmel beginnen, ist es nöthig, daß wir uns mit einigen astronomischen Begriffen und derjenigen Grundkraft zuvor bekannt machen, von welcher die kosmischen Bewegungen der Gestirne abhängen.

Blicken wir im Freien zum Himmel auf, so erscheint uns derselbe als eine große Hohlkugel, deren eine Hälfte wir sehen, die andere aber unter unseren Füßen denken müssen. An ihrer inneren Fläche alle Gestirne enthaltend, umgibt sie die Erde nach allen Seiten hin. Diese scheint sich dabei, besonders im Flachlande, in eine weite, breitrunde Ebene auszudehnen, welche mit dem Himmelsgewölbe um uns herum scheinbar zusammengrenzt, und die Peripherie dieser Ebene, in deren Mittelpunct sich der Beobachter befindet, nennt man den Horizont (Gesichtskreis). Der von uns übersehbare Horizont ist indessen, da er einen Kreis von nur wenigen Meilen Durchmesser bildet, nur ein scheinbarer; die Ebene des wahren Horizonts dagegen geht durch den Mittelpunct der Erde, mit der Ebene des scheinbaren parallel bis zum Himmelsgewölbe. Obgleich der scheinbare von dem wahren Horizonte (Taf. I, Fig. 1.) beinahe um 860 geographische Meilen entfernt ist, so sind doch beide Horizonte als einander gleich zu erachten, da der Halbmesser co

im Vergleich mit der Entfernung des Sternenhimmels eine ganz verschwindende Größe ist. Auf jedem Puncte der Erdoberfläche übersehen wir daher, wenn wir durch keine irdischen Gegenstände daran gehindert sind, auf einmal eine völlige Halbkugel des Himmels = 180°. In der That kann ein in H stehender Stern ebenso gut von o aus gesehen werden, als von c. Es folgt hieraus, daß unsere Gesichtslinien schon etwas unter den wahren Horizont fallen, daß wir mithin etwas mehr als 180° vom Umfang der Himmelshohlkugel übersehen, wenn wir uns nur wenig über die Land- oder Seeoberfläche erheben. Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der Größe des sichtbaren Erdbogens bei zunehmender Erhebung über die als platt gedachte Erdoberfläche.

Höhe	Halbmesser in pariser Fuß	Halbmesser in geograph. Meilen	Höhe	Halbmesser in pariser Fuß	Halbmesser in geograph. Meilen
10 F.	19804	0,86	1000 F.	198090	8,66
20 „	28022	1,23	2000 „	280150	12,30
30 „	34310	1,50	3000 „	343100	15,04
40 „	39618	1,74	4000 „	396180	17,36
50 „	44295	1,93	5000 „	442950	19,50
100 „	62642	2,75	10000 „	626400	27,44
200 „	88590	3,88	15000 „	767200	33,18
300 „	108500	4,75	20000 „	885890	38,80
400 „	125260	5,50	25000 „	990450	43,40
500 „	140070	6,17	26266 „	1057190	46,29

So oft wir unseren Standort auf der Erdoberfläche verändern, verändert sich auch unser Horizont und geht durch andere Puncte des Himmels. Der Punct am Himmelsgewölbe, senkrecht über unserem Standorte, heißt Zenith oder Scheitelpunct Z, der ihm gegenüber senkrecht unter unseren Füßen liegende Nadir oder Fußpunct N. Beide bilden die Pole des Horizonts, sind überall 90° von demselben entfernt, und verrücken sich ebenfalls, sobald wir unseren Standort ändern, und zwar für jede geograph. Meile Entfernung um 4 Minuten in Bogen. Der Horizont wird, wie jeder Kreis, in 360 Grade (360°) eingetheilt, von denen jeder wiederum in 60 Minuten (60′),

und jede Minute in 60 Secunden (60″) zerfällt, so daß also ein Grad 3600, und jeder Kreis 1296000 Secunden enthält. Natürlich gilt dasselbe auch von den Kreisen der übrigen Systeme der Himmelskugel. Daraus erhellet, welche Schärfe der Instrumente und der Beobachtung dazu gehört, um so kleine Theile bei der Messung des Himmelsbogen noch mit Bestimmtheit zu unterscheiden, ja sich damit nicht genügen zu lassen, sondern sogar, wie es jetzt von den Astronomen geschieht, Zehntheile und Hunderttheile von Secunden anzugeben. Eine solche Genauigkeit ist aber von der größten Wichtigkeit, weil schon in der Entfernung des Planeten Saturn eine Bogensecunde eine Größe von 800 geograph. Meilen ausmacht, und ohne sie viel wichtigere astronomische Veränderungen sich gar nicht beobachten und angeben lassen. — Bekanntlich theilt man den Horizont außerdem noch nach den Tageszeiten in 4 gleich große Theile (Viertelskreise) ein (OS, SW, WN u. NO, Taf. I, Fig. 2.), und bestimmt nach ihnen die Weltgegenden (Cardinalpuncte) des Horizonts, Ost- und Westpunct, Nord- und Südpunct. Durch fortgesetzte Theilung der Horizontfläche in 8, 16 und 32 Puncte erhält man die Windrose, nach welcher die Himmelsgegenden bezeichnet werden. — Denken wir uns im Puncte C des Horizontes SWNO (Taf. I, Fig. 2.), so ist Z unser Zenith. Bogen größter Kreise, wie ZS, ZB, ZD, senkrecht vom Zenith auf alle Puncte des Horizontes gezogen, heißen Vertical- oder Scheitelkreise. Sie haben 90° zum Winkelmaß, sind mithin Quadranten, und auf ihnen rechnet man die Höhe der Sterne über dem Horizonte. So ist z. B. der Bogen Bs die Höhe des Sternes S, der Bogen Dt die Höhe des Sternes t über dem Horizonte. Höhenkreise sind kleinere mit dem Horizont parallel gezogene Kreise, die wie AE, FG übereinander folgen und gegen den Scheitelpunct hin immer kleiner werden. Sie bezeichnen, indem sie durch einen Stern gehen, auf dem Verticalkreise seine Höhe, wie FG für den Stern S; alle Sterne demnach, die auf einem und demselben dieser Kreise stehen, haben wie s und t gleiche Höhe. Die Entfernung eines Punctes des Verticalkreises vom Horizonte wird daher die Höhe jenes Punctes, die Entfernung desselben vom Zenith der Zenithabstand oder die Zenithdistanz genannt. Höhe und Zenithdistanz ergänzen einander zu 90°. — Der Dämmerungskreis ist ein kleiner Kreis ad, der 18° unter dem Horizonte und mit demselben parallel liegt. Erreicht die Sonne vor ihrem Aufgang am Morgen diesen Kreis, so fängt die Morgendämmerung an, und verläßt sie denselben nach ihrem Untergange Abends, so hört die Abenddämmerung auf und die Nacht

beginnt. — Alle die genannten Kreise bilden das **Kreissystem des Horizontes**, und sie behalten mit dem Horizonte, gegen denselben und unter sich, eine unveränderte Lage, und mag der Beobachter seinen Standort auch noch so weit nach Osten oder Westen verlängern, so kommen doch die Himmelskörper täglich einmal mit diesen Kreisen und Puncten wieder in die nämliche Stellung; geschieht aber diese Veränderung bedeutend von Norden nach Süden, oder umgekehrt, so werden sie merklich geändert, bleiben zwar unter sich in gleichem Verhältniß, ziehen sich aber alle gemeinschaftlich durch andere Stellen der Himmelskugel.

Bekanntlich geht die Sonne alle Morgen an einem Puncte des östlichen Horizontes auf, steigt von da in einem weiten Bogen immer höher am Himmel empor, verweilt, wenn es Mittag ist, einen Augenblick im höchsten Puncte ihrer Bahn, und sinkt dann langsam zur entgegengesetzten Seite des Horizontes herab, wo sie untergeht. Nachts sieht man vielleicht an derselben Stelle des Horizontes, wo die Sonne hervorkam, einen Stern aufgehen. Verfolgt man ihn die ganze Nacht hindurch, so bemerkt man, wie er in einem ähnlichen weiten Bogen am Himmel emporgleitet, und, angelangt im höchsten Puncte seiner Bahn, in derselben Zeit, wie die Sonne, wieder zum Horizonte herabsinkt. Andere Sterne gehen in dem einen halben Kreise des Horizontes von Norden durch Osten nach Süden auf, und in dem anderen halben Kreise von Süden durch Westen nach Norden unter, indem sie von ihrem Aufgange bis zu ihrem Untergange gleiche Bogen beschreiben, wie die Sonne und jener Stern. Alle diese Gestirnbahnen sind kreisförmig und heißen **Tagkreise**, welche sich in **Tag-** und **Nachtbogen** theilen. Man nennt die Entfernung des Ortes, wo ein Stern auf- und untergeht, vom wahren Ost- oder Westpunct des Horizontes (O und W Taf. I, Fig. 2) die **Morgenweite** und **Abendweite** eines Sternes. Sie ist ein Bogen des Horizontes, der vom Punct West oder Ost desselben nach Süden oder Norden bis dahin sich erstreckt, wo ein Himmelskörper auf- oder untergeht. Ist in unserer Figur O der Ostpunct, also S der Süd- und N der Nordpunct, und ein Stern geht in D auf, so ist OD seine Morgenweite nach Süden. Nicht alle Gestirne aber haben einen **Auf-** und **Untergang**, sondern einige darunter beschreiben ihren ganzen Tagkreis am sichtbaren Theile des Himmels. Es sind die „Circumpolarsterne" (Umpolsterne), deren Bewegung man verfolgen kann, wenn man, die Sonnenaufgangsseite zur Rechten, die Blicke zum Himmel vor sich richtet. Unter diesen Sternen

beschreibt einer einen so kleinen Kreis, daß er der oberflächlichen Beobachtung das ganze Jahr an demselben Orte des Himmels zu stehen scheint. Genaue Messungen zeigen aber, daß dieser Ort gegenwärtig etwa 3 Monddurchmesser (der Monddurchmesser zu 31′ 38″) von einem Puncte entfernt ist, welcher im Gegensatz zur Bewegung der Gestirne unbeweglich ist. Dieser Punct ist der Nordpol des Himmels, dem in einem gerade entgegengesetzten Puncte der südlichen Halbkugel der Südpol entspricht. Jener Stern in der Nähe des Nordpols ist der Polarstern. Man findet ihn zu jeder Jahreszeit leicht am Himmel, wenn man das aus 7 hellen Sternen bestehende nördliche Sternbild des großen Bären kennt. Eine gerade Linie durch die beiden letzten Sterne desselben a und b (Taf. I, Fig. 3), 5 mal so weit über b hinaus verlängert, als b von a entfernt ist, trifft in einer an hellen Sternen armen Gegend den Polarstern, welcher der letzte einer ähnlichen Gruppe ist, die der kleine Bär heißt. Eine vom Nordpol durch den Mittelpunct der Erde zum Südpol des Himmels gedachte gerade Linie stellt die Himmelsachse vor, um welche alle Gestirne ihre tägliche Bewegung machen. Sie ist natürlich eine bloße Richtung, gefunden durch den Nord- und Südpol, die sich ihrerseits aus der täglichen Bewegung der Gestirne ergeben. — Verweilen wir bei diesem Schauspiel der Umdrehung der Gestirne noch etwas länger. Wir haben gesehen, wie es sich den Blicken in unseren Breiten darstellt, wobei noch zu bemerken ist, daß die Gestirne in ihren Tagkreisen eine gegen den Horizont schiefe Aufsteigung haben. Denkt man sich nun den Beobachter z. B. auf dem Nordpol der Erde, so wird er den entsprechenden Himmelspol als einen unveränderlichen Punct im Zenith haben (Taf. I, Fig. 1, wenn O der Nordpol der Erde und Z der Nordpol des Himmels ist), und um diesen alle über seinem Horizonte befindlichen Gestirne in verschiedenen einander parallelen Kreisen von Osten nach Westen sich drehen sehen. Weil aber der Himmelspol zugleich das Zenith ist, folglich senkrecht über der Ebene des Horizontes steht, so müssen alle jene Kreise, welche Höhenkreise sind, dem Horizonte parallel laufen, folglich können die auf demselben befindlichen Sterne zu keiner Zeit der Umdrehung sich dem Horizonte nähern oder von demselben entfernen, sie können wohl von der Sonne unsichtbar gemacht werden, aber von einem Auf- und Untergange kann hier bei keinem Sterne die Rede sein, sie sind alle Circumpolarsterne. Ganz anders verhält sich die Sache für den Beobachter auf dem Erdäquator. Für ihn liegen die beiden festen Puncte des

Himmels, die Pole, in seinem Horizonte, sein Zenith aber rückt in jedem Moment der Umdrehung von Westen nach Osten durch einen größten Kreis am Himmel, der überall gleich weit von beiden Himmelspolen entfernt und der **Himmelsäquator** ist. Dieser scheint seinem Zenith von Osten nach Westen entgegenzukommen, und alle in demselben befindlichen Gestirne gehen in Osten senkrecht über dem Horizont auf und nähern sich, nachdem sie durch den Zenith gegangen sind, ebenso senkrecht wieder dem westlichen Horizonte.

In Fig. 4, Taf. I ist AA′ der **Himmelsäquator**, welcher überall um 90° von seinen beiden Polen N und S absteht und die Himmelshohlkugel in eine nördliche und südliche theilt. Denkt man sich parallel mit dem Aequator kleinere Kreise gezogen, so steht zu ihnen, wie zum Aequator, die Weltachse senkrecht. Sie heißen **Parallelkreise**, deren man sich eine beliebige Zahl an der Himmelskugel denken kann. Legt man durch die Pole größte Kreise, NmS, so werden sie den Aequator unter rechten Winkeln schneiden; sie werden dessen **Meridiane** (Mittagskreise) genannt. Da man durch jeden Punct des Aequators einen Meridian, und ebenso durch jeden Punct eines Meridians einen Parallelkreis legen kann; so folgt, daß jeder Punct des Himmels sowohl seinen Meridian als seinen Parallelkreis hat. Somit bildet der Himmelsäquator mit seinen Meridianen und Parallelkreisen ein **System**, welches bei Himmelsbestimmungen seine Anwendung finden kann. Die Kreise dieser Systeme werden in Grade, Minuten und Secunden eingetheilt, und man bestimmt die Stellung der Sterne nach **Rectascension** (AR, gerade Aufsteigung) und **Declination** (Abweichung vom Aequator). Declination ist der Abstand eines Gestirns vom Aequator in Bogen eines größten, auf letzterem senkrechten und durch die beiden Weltpole gehenden Kreises (Declinationskreises). Rectascension bezeichnet den zwischen dem Frühlingspuncte und dem Declinationskreise eines Gestirns enthaltenen Bogen des Aequators. Auf dem Erdäquator, wo sich, wie wir gesehen, die Sterne unter rechten Winkeln über den Horizont erheben, steigt der Punct des Himmelsäquators, den der Declinationskreis des Sterns trifft, zugleich mit dem Gestirn auf, und zwar steigt er **gerade** mit ihm auf, woher der Name. Die Grade des Aequators werden vom Frühlingspuncte an, den man sich immer rechts zu denken und in den Figuren auch rechts zu suchen hat, von Abend gegen Morgen, d. i. von der Rechten zur Linken gezählt. Rectascension und Declination bezeichnen am Himmel genau das Nämliche,

was man auf der Erde durch die Bogentheile der geographischen, oder irdischen Länge oder Breite ausdrückt. Am Himmel aber beziehen sich die Wörter Länge und Breite auf die Ekliptik, d. h. auf die Ebene der Erdbahn und deren Meridiane, welche zusammen ein drittes Kreissystem bilden, daher man für das System des Aequators andere Namen gebrauchen mußte, die auch für den Erdäquator und dessen Nachbarschaft völlig passend sind, für unsere Gegenden aber und besonders für die Polarzonen etwas befremdend erscheinen müssen. Denn in den letzteren würde man eher die Declination eine Geradaufsteigung nennen können, indem die Rectascension mit dem Horizonte mehr oder weniger parallel geht, unter 45° irdischer Breite aber haben Rectascension und Declination gerade einerlei Neigung gegen den Horizont.

Der Ortsmeridian ist derjenige Scheitelkreis, der durch das Zenith und zugleich durch den Pol des Aequators geht, der also dem System des Aequators sowohl als dem des Horizontes angehört. Er schneidet den Nord- und Südpunct des Horizontes und theilt die über letzterem befindliche Himmelskugel in eine östliche und westliche. Weil nun alle Sterne beim Durchgang durch den Ortsmeridian den höchsten Standpunct erreichen, den sie über dem Horizonte haben können, so wird der Moment des Durchgangs die Zeit der oberen Culmination (v. culmen, Spitze) genannt, zum Unterschied von der ihr gerade entgegengesetzten unteren Culmination, wobei die nicht untergehenden Sterne (Circumpolarsterne) den tiefsten Standpunct, oder die geringste Höhe haben. Den Ortsmeridian kann man sich als einen schmalen Gewölbbogen denken, der sich von Norden nach Süden über den Beobachter hinzieht und beständig im Zenith desselben bleibt, gegen den aber die Sterne wegen ihrer scheinbaren Umdrehung um die Erde in jedem Momente ihren Standpunct verändern.

Weil, wie oben gezeigt worden, dem Beobachter auf dem Nordpol der Erde der entsprechende Himmelspol im Zenith, auf dem Erdäquator dagegen im Horizonte steht, so muß sich der Nordpol des Himmels um ebenso viele Grade über den nördlichen Horizont erheben, als der Beobachter sich vom Erdäquator entfernt, und der Himmelsäquator, da er 90° vom Pol absteht, um ebenso viele Grade gegen den südlichen Horizont herabsinken. Die Höhe der Pole über dem Horizonte heißt die Polhöhe, die Höhe des Aequators über demselben die Aequatorhöhe. Steht der Polarstern 20° über dem Nordpunct des Horizontes, so ist die Ebene des Aequators um ebenso viele Grade gegen den südlichen Horizont herabgesunken und seine Höhe über

demselben beträgt 70°; die Aequatorhöhe ist also die Ergänzung der Polhöhe zu 90°. Die Entfernung des Polarsterns vom Zenith des Standpunctes ist dessen Zenithabstand; es ist mithin der Zenithabstand gleichfalls die Ergänzung der Polhöhe zu 90°. Weil ferner der Polarstern um ebenso viele Grade sich über den Horizont erhebt, als man sich vom Aequator nördlich entfernt, so ist an demselben Ort, in Graden gemessen, die Polhöhe gleich der geographischen Breite.

Die Gravitation.

2. Die wirkenden Ursachen in der gesammten Natur sind ein System von Kräften; denn allenthalben, wo Gestalten werden und Veränderungen eintreten, sind diese das Product von Kräften. Sie regieren das Weltall und sind das Belebende und Bewegende, der Grund aller Veränderung im Ruhenden. Die einen Kräfte bestimmen den Mechanismus der Bewegung und sind schon längere Zeit bekannt, andere dagegen, vom Schleier des Lebens verhüllt, haben sich dem Auge des Physikers erst in neuerer Zeit zu offenbaren begonnen. Die Kräfte, als Ursachen einer gewissen Menge gleichartiger Phänomene, sind aber für die Sinneswahrnehmung nur vorhanden nach der Wirknng, welche sie an der Materie hervorbringen; ihr Wesen dagegen ist für unsere Sinne unergründlich. Der allgemeine Ausdruck dafür, wie eine Kraft wirkt, ist das Gesetz; es spricht die unveränderlich gleichbleibende Beständigkeit der Kraftäußerung aus. Weil wir in den Naturgesetzen nicht nur Intelligenz, sondern oft auch einen wohlthätigen Zweck erblicken, so sind wir geneigt, einen dabei betheiligten Geist vorauszusetzen, sie selbst aber als den Ausdruck einer absoluten Macht und eines allzeit gegenwärtigen und erhaltenden Willens zu betrachten. Eines dieser Naturgesetze gibt sich in den Kraftäußerungen der allgemeinen Anziehung kund, mit welcher wir uns zunächst bekannt zu machen haben. Diese Anziehungskraft, welche bei der Erde und zwischen den Himmelskörpern Schwerkraft oder Gravitation heißt, bedingt die Bewegungen und die gegenseitige Abhängigkeit der Himmelskörper, welche in kaum faßbaren Zahlen die unbegrenzten Weiten des Weltraums erfüllen, und von ihr rührt ohne Zweifel auch die allgemeine Kugelgestalt der kosmischen Organismen, oder die „Ballung der Materie" her.

Gewisse alltägliche Erscheinungen offenbaren uns die Wirksamkeit dieser Naturkraft, welcher im Weltall ein so allverbreiteter Wirkungskreis zugetheilt ist. Holzscheite, welche in einem Teiche schwimmen, nähern sich einander und bleiben hierauf in Berührung. Leichte Körper, welche in einem mit Wasser gefüllten, dicken steinernen Gefäße schwimmen, ziehen sich nach kurzer Zeit alle an den nächsten Rand und hängen an demselben fest. Stellt man in eine mit fettem Rahm gemischte Tasse Kaffee einen silbernen Löffel, so wird man nach einiger Zeit die dickste Schicht des Rahms nicht nur am Rande der Tasse finden, sondern auch über dem Löffel die ganze Form derselben durch eine dickere und weißere Schicht abgebildet sehen, und zwar um so deutlicher, je näher sie dem schräg gestellten Löffel ist. Wenn endlich zwei Kugeln von gleicher Holzart, frei von fremder Einwirkung, im Wasser schwimmen, so werden sie ungefähr in der Mitte ihres Zwischenraums zusammenstoßen und an einander bleiben. In allen diesen Erscheinungen gibt sich unverkennbar ein geheimer Trieb der Körper zu erkennen, sich einander zu nähern und mit einander zu verbinden. Die Ursache davon ist eine aller Materie ohne Ausnahme inwohnende, zwar geheimnißvolle, aber factisch unläugbare Naturkraft. Sie äußert sich nicht nur zwischen zwei oder mehreren Körpern, sondern auch zwischen den einzelnen Theilen derselben Körpermasse, indem jedes Theilchen nach allen Richtungen gleichsam unsichtbare Arme ausstreckt, seine Nachbarn freundlich zu erfassen und sich mit ihnen zu verbinden.

Es ist für unseren Zweck wichtig, die Art, w i e diese Kraft wirkt, noch näher zu betrachten. Von zwei oder mehreren Körpern zieht ein jeder den anderen an; denn die Anziehung ist keine einseitige, sondern sie ist gegenseitig. Aber sie ist verschieden, je nach der Größe der Körper. Schwimmen im Wasser, ganz ungestört durch irgend eine fremde Einwirkung, zwei Kugeln, welche einander vollkommen gleich sind; so werden sie sich gegenseitig gleich stark anziehen, und, ihrer Anziehung folgend, sich mit gleicher Geschwindigkeit einander nähern, bis sie an dem Puncte m (Taf. I, Fig. 5) sich berühren, der genau die Mitte ihrer ursprünglichen Entfernung ist, Sind jedoch die beiden Kugeln, C und D (Fig 6), von verschiedener Größe, z. B. im Verhältniß der Radien $\sqrt[3]{1}$ zu $\sqrt[3]{2}$, so ist ihre gemeinschaftliche Anziehungskraft 3 x; davon aber wirkt C auf D nur mit $1/_3$, D auf C mit $2/_3$, also wird D nur um $1/_3$, C um $2/_3$ aus seiner Stelle gezogen.

mithin ist $^2/_3$, oder d, die Stelle, wo beide zusammenstoßen, und da sie gleich viel Zeit gebrauchen, um ihren Weg zurückzulegen, so wird C sich zweimal geschwinder bewegen als D. Dies tritt noch auffallender hervor, wenn der Unterschied beider Kugeln E und F (Fig. 7) noch größer ist, etwa wie 1 : 100. Hier wird die Bewegung von F so klein, daß sie scheinbar ganz in Ruhe bleibt, während die kleine Kugel E mit großer Geschwindigkeit sich zu F hin bewegt. Wenn ferner zwei feste Kugeln auf eine dritte bewegliche wirken, die in der Mitte zwischen beiden unbeweglichen schwimmt; so werden jene, wenn ihre Massen gleich sind, jede die Wirkung der anderen aufheben, und es wird folglich gar keine Bewegung entstehen. Ist aber bei gleicher Dichtigkeit, die eine der feststehenden Kugeln größer als die andere, so wird sie mit dem Ueberschuß ihrer Masse die bewegliche Kugel an sich ziehen.

Aus diesen Beispielen geht nun deutlich hervor, daß die Anziehung zwischen Körpern wesentlich Massenanziehung ist, und zwar ohne allen Unterschied des Stoffes und der Gestalt. Je größer die Masse eines Körpers ist, d. i. je größer die Zahl der kleinsten materiellen Theilchen ist, aus denen er besteht, desto größer ist auch seine Anziehungskraft. Die Größe der Anziehung, welche Körper gegenseitig auf einander ausüben, verhält sich direct wie die Masse der Körper, lautet daher das eine der beiden Gesetze, nach welchem die allgemeine Anziehungskraft wirksam ist. Bei gleichem Abstande steht mithin die Stärke der Anziehung der Körper im zusammengesetzten Verhältniß zu ihrer Dichtigkeit und Raumerfüllung. Das zweite Gesetz ist schon angedeutet in dem Beispiel mit dem Kaffeelöffel, wird sich aber noch bestimmter ergeben aus folgendem Beispiele. Ist die Entfernung der beweglichen Kugel C, Fig. 8, von den beiden feststehenden A und B ungleich, und verhält sich die Entfernung AC zu BC wie 1 : 2; so bewegt sich C anfangs langsam, dann immer schneller nach A hin. Die Wirkung der anziehenden Kraft von A auf C ist also größer, als die von B, nicht weil A mehr Masse hat, als B, sondern weil die Entfernung AC kleiner ist, als AB. Das zweite Gesetz heißt also: Die Anziehungskraft nimmt mit zunehmender Entfernung ab, und zwar in dem Verhältniß, wie die Quadrate der Entfernung wachsen, oder, sie wirkt den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional, so daß also, wenn ein Körper dem anderen noch einmal so nahe gebracht wird, sich beide viermal so stark anziehen, als vorher.

Die von einem kugelförmigen Körper ausgehende Anziehungskraft breitet ihre Wirksamkeit ebenso allseitig aus, wie das Licht seine erleuchtenden Strahlen, die in ihrem Laufe durch beständige Theilung sich in immer breitere Strahlenbüschel ausdehnen und hierdurch sich in eben dem Maße schwächen müssen, als die Flächen, auf welche sie treffen, mit zunehmender Entfernung größer werden. Newton war zuerst auf diesen glücklichen Vergleichungspunct gekommen, und er leitete daraus die Folgerung ab: daß die Wirkung der Schwerkraft ebenso, wie die des Lichtes, den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional sein müsse. Dieses Gesetz ist ein allgemeines Gesetz der Physik, und es ist ein geometrisch nothwendiges, gegeben mit dem Satz, daß Kugelflächen sich verhalten, wie die Quadrate der Halbmesser. Die anziehende Kraft verbreitet sich mit zunehmender Entfernung über immer größere Kugelflächen und verhält sich daher an jedem einzelnen Puncte derselben umgekehrt wie die Ausbreitungsfläche. Dies gilt zunächst in aller Strenge nur für die Anziehung von Atom zu Atom; aus den atomweisen Anziehungen aber setzt sich die Gesammtanziehung der Körper auf einander zusammen, und diese kann dann das Gesetz in einer anderen Form befolgen, welche von der Gestalt und Atomvertheilung abhängt. Sind aber beide Körper soweit von einander entfernt, daß ihre Abmessungen gegen die Entfernung verschwinden, daß sie gegenüber von einander gleichsam zu Atomen zusammenschrumpfen, so gilt für sie das atomweise Gesetz. Haben sie ferner vollkommene Kugelgestalt, mit völlig ebenmäßiger Atomvertheilung (Dichtigkeit)um den Mittelpunct her; so ist es gerade so, als ob in ihren Mittelpunkten die ganzen Massen vereinigt wären, und es gilt wieder das atomweise Gesetz. Es ist dies z. B. schon bei der Erde der Fall, bei welcher jene Bedingungen nicht ganz erfüllt sind; denn an jedem Punkte der Erdoberfläche ist die verlängerte Richtung, welche das Bleiloth annimmt, eine nach dem Mittelpunct der Erde hinführende Linie, so daß die Gesammtanziehung der Erde in ihrem Mittelpuncte vereinigt erscheint. Das Gesetz vom umgekehrten Quadrat der Entfernung ist also das allgemein räumliche Gesetz für alle Wirkungen in die Ferne, und begegnet uns auch bei den von der Massenanziehung so wesentlich verschiedenen electrischen und magnetischen Anziehungen, sowie bei den Abstoßungen, die hier immer den Anziehungen zur Seite stehen, es begegnet uns beim Schall und der Wärme, ja es gilt selbst für die Capillaranziehungen der Flüssigkeiten.

Bekanntlich übt ein Körper auf seine horizontale Unterlage einen Druck aus, der sein Gewicht heißt, und ebenso bekannt ist es, daß der nicht unterstützte Körper senkrecht gegen die Oberfläche der Erde, oder gegen den Mittelpunct fällt. Beide Erscheinungen sind, gleichwie der Lauf des Wassers, die Richtung des Lothes und die Bewegung des Pendels, lediglich Wirkungen der Schwerkraft der Erde, welche aus der Summe der Anziehungen aller einzelnen Erdmassentheilchen besteht. Galilei hat das Gesetz des freien Falles der Körper entdeckt, indem er zeigte, daß bei einem fallenden Körper sich die Fallräume verhalten wie die Quadrate der Zeiten. Die Frage nach der physischen Ursache dieses Gesetzes ließ Galilei bei Seite liegen. Allein sehr bald waren seine Anhänger darüber einig, daß jene Ursache keine andere sein könne als die Schwere, die in jedem Moment auf den Körper wirkt, und so seine Geschwindigkeit, die sich nach dem Gesetze der Trägheit immer zugleich erhält, in jedem Zeittheilchen vermehrt, und zwar im einfachen Verhältniß der Zeiten. Fällt daher ein Körper in einer Secunde durch einen Raum von 15 Fuß, wie Galilei gefunden hat, so muß nothwendig der Weg, den er in der ersten Hälfte dieser Zeit macht, kleiner sein, als der der zweiten Hälfte, und am Ende der Secunde muß der Körper eine größere Geschwindigkeit besitzen, als in jedem vorhergehenden Theile derselben. Daraus folgt, daß der Körper für jede folgende Secunde eine rasch zunehmende Geschwindigkeit erlangen muß, und nach einem sowohl durch Beobachtung wie durch Berechnung bestätigten Gesetz findet man den Raum, welchen er in einer Anzahl Secunden durchlaufen hat, wenn diese zuerst mit sich selbst und dann das Product mit 15, als dem Fallraum der ersten Secunde, multiplicirt wird. Der Körper fällt also in zwei Secunden durch einen Raum von $2 \times 2 \times 15 = 60$, in drei Secunden durch $3 \times 3 \times 15 = 135$ Fuß u. s. w. Streng genommen gilt das Fallgesetz, wonach ein Körper in einer Secunde durch einen Raum von 15 Fuß fällt, nur für die Körper an der Erdoberfläche, wo sie von dem Mittelpunct der Anziehung um den Erdhalbmesser entfernt sind. In größerer Entfernung ist die Anziehung nicht mehr dieselbe, weil sie nach dem Verhältniß der Quadrate der Entfernung abnimmt. Bezeichnet daher der Fallraum von 15 Fuß die Stärke der Schwerkraft in der Entfernung 1 vom Erdmittelpunct (Taf. 1, Fig. 9), so ist sie in der Entfernung von 2 (Erdhalbmessern) gleich $\frac{15}{4}$, in 3 gleich $\frac{15}{9}$, in 4 gleich $\frac{15}{16}$, in n gleich $\frac{15}{n \times n}$,

so daß also in jeder Entfernung die Größe der Schwerkraft durch einen Bruch bezeichnet werden kann, dessen Zähler 15 ist und dessen Nenner man durch Multiplication der Entfernung mit sich selbst erhält. — Sich die Schwere der Körper auf der Erde als Wirkung der Anziehungskraft der letzteren zu denken, macht wenig Schwierigkeit, weil wir deutlich sehen, daß sie dieselben wirklich gegen die Erde zieht; aber schwieriger ist es, sich durch die Erfahrung zu überzeugen, daß auch die einzelnen Körper auf derselben einander anziehen, weil die Anziehung der Erde so übermächtig ist, daß sie jene schwächeren Anziehungen in den gewöhnlichen Verhältnissen der Wahrnehmung entzieht. Zwei neben einander fallende Steine z. B. können sich nicht gegen einander bewegen, daß es bemerkbar würde, weil ihre Massen in Vergleich mit der Erde so klein sind, daß ihre gegenseitige Anziehung gegen die der Erde verschwindet. Nur wo die Wirkung der Erdanziehung in's Gleichgewicht gestellt ist, wie bei schwimmenden Körpern, kann die Wirkung der einzelnen Anziehungen zum Vorschein kommen.

Aber nicht nur die Erde, alle Weltkörper sind Sitze von Schwerkräften. Der Anziehungskraft gehorcht Alles, was körperlich ist; sie ist die allgemeine Weltkraft, welche den Bau des Weltalls im Ganzen, wie den jedes Weltkörpers im Einzelnen zusammenhält. Als die das ganze Universum durchdringende Grundkraft äußert sie sich zwischen den einzelnen Himmelskörpern nach denselben Gesetzen, wie wir sie zwischen den schwimmenden Kugeln wirksam gefunden haben. Weil aber die Weltkörper um eine Zentralmasse oder einen gemeinschaftlichen Schwerpunct sich in bestimmten, sich gleich bleibenden Curven bewegen und die Kraft der Anziehung für sich allein nur nach Verbindung und Vereinigung der angezogenen Massen strebt; so müssen, wie später ausführlicher gezeigt werden wird, bei den Bewegungen der Weltkörper zwei Kräfte zusammenwirken, um jene constanten Bahnbewegungen hervorzubringen. Die eine dieser Kräfte ist die Gravitation in ihren bekannten Proportionen, die andere die ursprüngliche Bewegung, welche die eine Masse beständig in einer anderen Linie als die Gravitation wirkt, wegtreibt. Ein Beispiel, wie dies zu verstehen ist, gibt die kühne Wölbung der von jähem Fels herabrauschenden Wasserfälle, oder der Stein, der von Menschenhand aufgeworfen, durch die ziehende Kraft der Schwere in einer Curve wieder zur Erde fallen muß.

Der Fixsternhimmel.

Der Weltäther.

3. Wir bewundern mit Recht den Reichthum der Schöpfungskraft um uns her auf der Erde, die Mannigfaltigkeit und Schönheit der Formen im Reiche der Pflanzen und Thiere, wie in der Gestaltung der Bodenoberfläche; aber auch der sich über uns wölbende Sternenhimmel zeigt eine größere Abwechselung von Formen und Gebilden, als die blos flüchtige Beschauung wahrzunehmen glaubt. Jener endlose Raum ist keineswegs mit einer einzigen Art von Körpern erfüllt. Vielgestaltete Nebelflecke, planetarische Nebel und Nebelsterne, Sternenhaufen und Doppelsterne, die um einen gemeinschaftlichen Schwerpunct kreisen, verschieden gefärbte, im Glanz veränderliche, plötzlich erscheinende und verschwindende Sonnen, dunkle, eine Zentralsonne umkreisende Planeten und Cometen bedecken in ungleichförmiger Vertheilung und mannigfacher Gruppirung das Firmament. Die weiten Zwischenräume aber zwischen diesen Weltorganismen erfüllt, wie man annimmt, der Weltäther, eine kosmische Materie, welche unseren Organen nie erreichbar sein wird.

Weltäther ist eine Benennung für etwas, was wir gar nicht näher kennen und nur aus gewissen Wirkungen als vorhanden vermuthen. Man führt verschiedene Gründe an, welche für seine Existenz sprechen sollen. Einer derselben bezieht sich auf eine besondere Art der Schwächung des Lichtes,

auf eine beschränkte Durchsichtigkeit des Weltraums. Denn da der Weltraum endlos, folglich die Zahl der leuchtenden Sterne ebenfalls unendlich sei, so müsse in jeder Richtung ein Stern oder vielmehr eine unbeschränkte Zahl derselben liegen. Bei vollkommener Durchsichtigkeit der Welträume müßte daher auch überall Sternenlicht sichtbar sein. Weil dies nicht der Fall ist, so schloß man auf ein den Weltraum erfüllendes Fluidum, das man Weltäther nannte, und durch welches das Licht geschwächt und durch sehr große Entfernung bis zur Unsichtbarkeit geschwächt werde. — Sicherer als dieser Grund spricht für die Existenz eines Weltäthers ein anderer, welcher, auf unmittelbare Beobachtung gestützt und numerische Resultate liefernd, sich auf die regelmäßig verkürzte Umlaufszeit einiger Cometen bezieht. Diese Störung im Laufe der Cometen, ganz unabhängig von den Störungen, die sie durch die Einwirkung anderer Himmelskörper erleiden, muß von einem kleinen Widerstande herrühren, den sie überall auf dem Wege durch den Himmelsraum finden. Die Ursache dieses Widerstandes kann aber nur in einem den Cometenlauf hemmenden Mittel gesucht werden, dem man die hypothetische Benennung Weltäther gegeben hat. Obgleich derselbe auf solche Weise als ein Widerstand leistendes Mittel erscheint, so kann er doch jedenfalls keine gewöhnliche, keine wägbare (körperliche) Substanz sein. Die Eigenschaft der Schwere, welche allen Körpern zukommt, muß ihm abgehen. Besäße er sie, so müßte er sich um die ihn durcheilenden Weltkörper verdichten und als eine Art von Atmosphäre sich mit ihnen fortbewegen. Dagegen aber sprechen alle Erscheinungen, welche mit ihm in Beziehung stehen. Der Weltäther, obgleich für uns noch ein mysteriöses Wesen, muß also eine unwägbare Substanz sein, was auch die Fortpflanzung des Lichtes nach der Undulationstheorie voraussetzt, welche einen dritten Grund enthält, die Existenz des Weltäthers anzunehmen.

Nach der älteren Emanations- oder Emissionstheorie besteht das Licht aus sehr kleinen materiellen Theilchen, die von den leuchtenden Körpern mit großer Geschwindigkeit ausgeworfen werden, und auf welche die verschiedenen Naturkörper durch anziehende und abstoßende Kräfte einwirken. Nach der Undulations- oder Vibrationstheorie bedarf das Licht eines Mediums zu seiner Fortpflanzung, und es wird angenommen, daß dies durch die Schwingungen der Aethertheilchen geschehe. Darnach wird vorausgesetzt, daß der dünne, nicht schwere, feine und elastische Aether nicht nur den ganzen Weltraum erfülle, sondern auch alle Körper

durchdringe, indem er die Zwischenräume zwischen den Molecülen derselben einnehme. Die Theilchen dieses Aethers können durch die ponderable Materie in Bewegung gesetzt werden, und wenn ein Theil eine Bewegung erhält, so theilt dieser die Bewegung den zunächstliegenden mit. Auf diese Art pflanzt sich die Bewegung immer weiter und nach denselben mechanischen Gesetzen fort, welche die Fortpflanzung der Wellen in anderen Mitteln bestimmen. Die neuesten Arbeiten von Young und Fresnel haben dieser Lichttheorie einen so entscheidenden Sieg verschafft, daß die Emanationstheorie fast allgemein als unhaltbar verlassen ist. Nach jener ist das Licht etwas dem Schall Analoges; so wie dieser durch die Schwingungen der wägbaren Materie fortgepflanzt wird, die in unserem Ohre als Ton empfunden werden, so das Licht durch die Schwingungen des unwägbaren Aethers, welche in unserem Auge die Lichterscheinungen hervorrufen. Wäre nun der Weltraum absolut leer, so könnte er nach der Undulationstheorie kein Licht durchlassen. Da er aber dennoch das Licht durchläßt, so müssen wir einstweilen und bis sich eine andere Erklärung findet, die Anwesenheit eines Aethers in demselben annehmen. Nach dieser Theorie würde überall vollkommene Finsterniß herrschen, wenn der Aether in dem ganzen Weltraum in Ruhe wäre; an einer Stelle jedoch gleichsam erschüttert, pflanzen die Lichtwellen sich nach allen Seiten hin fort, wie sich die Schwingungen einer Saite in einer ruhigen Atmosphäre weithin verbreiten, oder wie die Wellen des Wassers, in das man einen Stein wirft, ihre Kreise ziehen. Nach dieser Annahme erscheint der Aether als ein Meer, dessen Wellen das Licht verbreiten, das große Vereinigungsmittel, das durch unermeßliche Abstände dem einen Sterne Botschaft bringt vom anderen. Dennoch kann er einstweilen nur als ein angenommenes Princip einer Theorie des Lichtes angesehen werden, welches für die Erklärung der Erscheinungen ein Bedürfniß geworden ist.

Milchstraße, Sternhaufen, Nebelflecke.

4. Bevor wir die einzeln leicht unterscheidbaren Sterne in Betracht ziehen, wollen wir uns mit denjenigen Gegenständen am Himmel beschäftigen, welche meistentheils nur dem stark bewaffneten Auge zugänglich sind. Es sind Gebilde, welche uns in den Bau des Weltalls und die unermeßliche Raumerfüllung einen tieferen Blick werfen lassen, als die vereinzelt stehenden, mit bloßem Auge sichtbaren Sterne. —

In heiteren mondfreien Nächten nimmt schon das freie Auge einen weißlichen Schimmer wahr, eine Lichtzone, welche sich am Himmelsgewölbe hinzieht und es wie ein Gürtel einschließt. Es ist die sogenannte Milchstraße. Sie hat nirgends scharfe Grenzen, und ihre Breite läßt sich nur annäherungsweise bestimmen. An einigen Stellen, besonders am südlichen Himmel, zeigt sie inselartige dunklere Stellen, deren einige noch schwärzer als der übrige Nachthimmel erscheinen; eine derselben in der Nähe des Kreuzes heißt der „Kohlensack." An anderen Stellen gehen Arme von der Milchstraße aus, die sich nicht wieder mit dem Hauptgürtel vereinigen. — Schon alte Astronomen vermutheten in dieser Lichtzone Massen zahlloser, dicht gedrängter Sonnen, aber erst W. Herschel gelang es, sie durch seine starken Teleskope an den meisten Stellen in Tausende von teleskopischen Sternen aufzulösen, die sich indeß immer noch von einem weißlichen Grunde abhoben, welcher auf eine noch unvollständige Auflösung deutet. Diejenigen Gegenden des Himmels, in deren Nähe die Milchstraße vorüberzieht, sind weit reichlicher mit teleskopischen Sternen besetzt, als die von der Milchstraße entfernten, während die helleren, dem bloßen Auge sichtbaren Sterne hier weniger häufig als anderwärts gefunden werden.

Die größere Vervollkommnung der Fernröhre hat am Fixsternhimmel der Milchstraße ähnliche Weltengebilde erschlossen, nämlich Sternhaufen und Nebelflecke, von denen aber die letzteren der Sehkraft nur schwer zugänglich sind. Unter Sternhaufen versteht man eine Menge von Sternen, welche auf einem kleinen Raum des Himmels so dicht zusammengedrängt sind, daß das unbewaffnete Auge die einzelnen nicht unterscheiden, sondern nur ihren Gesammtschimmer, wie bei der Milchstraße, wahrnehmen kann. Doch gibt es unter den Sternhaufen eine Scale von den Magelhan'schen Wolken (11), welche allein über 300 Nebelflecke enthalten, abwärts bis zu solchen, die das bloße Auge nicht mehr sieht. Wendet man lichtstarke Fernröhre auf sie an, so vermag man die einzelnen Sterne zu unterscheiden. Der Grad einer solchen Auflösung in Sterne hängt natürlich von der Stärke der Instrumente ab. Daher lassen sich die Sternhaufen von den meisten unauflöslichen Nebelflecken nur dadurch unterscheiden, daß sich die letzteren nur in wenige einzelne Sterne auflösen, die aus einem matten Schimmer hervorleuchten, oder daß dieser Schimmer ganz unterschiedslos bleibt. Obgleich es Nebelflecke gibt, welche selbst die stärkste bis jetzt angewandte optische Kraft nicht aufzulösen vermochte, so vermuthete

J. Herschel früher doch, daß in der Wirklichkeit kein Unterschied zwischen Nebeln und Sternhaufen vorhanden sei, kam aber später von dieser Meinung zurück, und hielt dafür, daß es außer den aus Sternen bestehenden Nebeln auch zahlreiche andere gebe, die nur gestaltlose leuchtende Materie seien.

Von beiden Gebilden kennt man etwa 4000 an der Zahl, von denen manche nur als sehr kleine Fleckchen erscheinen. Die größte Anhäufung von Nebelflecken des ganzen Firmaments findet man in der nördlichen Hemisphäre, verbreitet durch die beiden Löwen, den Körper, den Schweif und die Hinterfüße des großen Bären, die Nase der Giraffe, den Schwanz des Drachen, die beiden Jagdhunde, das Haupthaar der Berenice, den rechten Fuß des Bootes und vor Allem das Haupt, die Flügel und die Schulter der Jungfrau. Eine geringere Anhäufung von Nebeln am nördlichen Himmel ist die, welche sich weiter als die vorige in die südliche Hemisphäre erstreckt, von der Andromeda, die sie fast ganz erfüllt, gegen Brust und Flügel des Pegasus, gegen das Band, welches die Fische verbindet, und gegen Fomalhaut hin. Einen auffallenden Contrast mit diesen Anhäufungen macht der öde, nebelarme Raum des Perseus, Widder, Stier, Kopf und oberen Leibes des Orion, um Fuhrmann, Hercules, Adler und das ganze Sternbild der Leier. In der südlichen Hemisphäre ist nicht blos eine geringere Anzahl von Nebelflecken, sondern auch eine weit gleichförmigere Vertheilung erkannt worden. Nebelleere Räume wechseln dort häufig mit sporadischen Nebeln; eine eigentliche locale Anhäufung findet sich nur in der großen Magelhan'schen Wolke (11).

Hinsichtlich ihrer individuellen Gestaltung sind die Nebelflecke sehr verschieden; bald regelmäßig — kugelförmig, elliptisch, ringförmig, planetarisch oder gleich einer Photosphäre einen Stern umgebend — bald unregelmäßig, und so schwer zu classificiren, wie die vielgestaltigen Wassernebel unsers Luftkreises, die Wolken. Als Normal-Gestalt der Nebel wird die elliptische genannt, die, wenn sie in die kugelförmige übergeht, sich am leichtesten in einen Sternhaufen verwandelt, wenn sie dagegen scheibenförmig erscheint, um so schwerer auflöslich wird. Die Verdichtung des milchigen Nebels ist stets gegen einen Kern, bisweilen nach mehreren zugleich gerichtet. Da sich in starken Fernröhren die runden Nebel in Sterne auflösen lassen, so betrachtet man sie als kugelförmige Sternhaufen, welche scheinbar in einen Raum zusammengedrängt sind, der oft kaum den zehnten Theil der Mondscheibe einnimmt. Und doch enthalten sie viele tausend

Sterne, deren Zwischenräume vielleicht ähnliche sind, als bei den uns zunächst umgebenden Sternen (8). Nur in der Abtheilung der runden oder ovalen Nebel kennt man Doppelnebel, mit allen den Unterschieden des Abstandes, der Stellung und des relativen Lichtglanzes, wie sie bei den Doppelsternen bekannt sind (9). Die Theile der Doppelnebel sind entweder durch Bänder unmittelbar mit einander verbunden, oder fließen manchmal an den Grenzen in einander, oder der eine hat eine Vorragung, der andere eine ihm entsprechende Einkerbung. Wenn auch an den Doppelnebeln noch keine relativen Bewegungen bemerkbar geworden, so vermuthet man doch eine gegenseitige Beziehung derselben zu einander, wie bei den physischen Doppelsternen. J. Herschel erkennt in ihnen auch wirklich nur eine andere Form, eine andere Bildungsstufe der Doppelsterne an. Er zählt 146 Doppel-, 25 dreifache, 10 vierfache, 1 fünffachen und 2 sechsfache Nachbarnebel. Die planetarischen Nebel gleichen in mancher Beziehung den Planeten, da sie runde oder ovale Scheiben mit nicht verschwimmender, sondern scharfer Umgrenzung zeigen; aber außer dem Mangel planetarischer Bewegung unterscheiden sie auch oft ihre besonderen Farben von den Planeten. Man zählt nur 25 solcher Nebel, und einer der schönsten steht am Sternbild des südlichen Kreuzes; er hat mit zwei anderen ähnlichen Nebeln die unter den Sternen seltene blaugrüne Farbe. Zu den sonderbarsten Erscheinungen gehören die Nebel mit spiralförmigen Windungen, wie sie in dem Riesenteleskop des Lord Rosse seit 1845 entdeckt sind. Sie bieten die größte Schwierigkeit der Deutung und scheinen jedenfalls von ganz besonderer Natur zu sein. Vielleicht sind sie im Gestalten begriffene leuchtende (kosmische) Materie. Man zählt jetzt deren 14, und sie zeigen eine krummlinige, nicht aus regelmäßig in sich zurücklaufenden Curven bestehende Anordnung. (Taf. I, Fig. 10, a, b, c, d, e, f, g, gibt Abbildungen von Sternhaufen und Nebelflecken, wobei alles Leuchtende dunkel dargestellt ist.)

Es unterliegt keinem Zweifel, daß man in den Sternhaufen und Lichtnebeln etwas Anderes vor sich hat, als eine besonders sternreiche Gegend des Himmels oder der Milchstraße; es sind vielmehr für sich bestehende Systeme von Sonnen, Weltinseln, wie A. v. Humboldt sie nennt, welche außerhalb des Bereichs der gewöhnlichen Sterne liegen. Gewiß ist jedenfalls, daß wir bei sehr vielen derselben in Entfernungen blicken, gegen welche die Entfernung der Milchstraße wiederum klein erscheint, zu deren Ausmessung selbst Siriusweiten kaum ausreichen. „Durch Fernröhre gesehn,“

sagt A. v. **Humboldt**, „führt ihre Betrachtung in Regionen, aus denen der Lichtstrahl nach nicht ganz unwahrscheinlicher Annahme Millionen von Jahren gebraucht, um zu uns zu gelangen.“ **Herschel** urtheilt über diese Verhältnisse in folgender Weise: „Es finden sich zahlreiche Gegenstände am Himmel, die in jeder Hinsicht wie ein verkleinertes Bild eines leicht auflöslichen Nebels, und wieder andere, die wie ein verkleinertes Bild jenes verkleinerten Bildes aussehen. Sternhaufen, die im 10füßigen Teleskop, welches 28 mal tiefer in den Raum eindringt, als das bloße Auge, genau so aussehen, wie andere mit dem bloßen Auge, wird man mit Recht für 28 mal so weit entfernt halten, als die letzteren. Auch kann man annehmen, daß ein noch dem bloßen Auge sichtbarer Sternhaufen im 10füßigen Teleskop auch in 28 mal größerer Entfernung sichtbar sein würde. Da nun Sternhaufen in 144 Siriusweiten sich noch dem bloßen Auge zeigen, so mögen andere, die im 10füßigen Teleskop ebenso unbestimmt erscheinen, $144 \times 28 = 4032$ Siriusweiten entlegen sein. In so großen Fernen, und vollends in jenen, welche das 20füßige und 40füßige Teleskop noch erreicht (4000 bis 11000, ja 35000 Siriusweiten), müssen solche Sternhaufen unter einem äußerst kleinen Winkel, zuletzt nur als etwas größere Sterne erscheinen. Das bewaffnete Auge mag daher in Entfernungen von 100000 Billionen Meilen und darüber noch Sternsysteme entdecken, deren Licht viele Jahrtausende nöthig hat, um zu uns zu gelangen.“ Wir haben es also hier mit Entfernungen zu thun, deren Größe zu versinnlichen, nichts von dem uns auf der Erde Zugänglichen hinreicht, und die sich auch bildlich nur sehr schwierig darstellen lassen. Und doch sind diese Nebelgebilde kein Aeußerstes im Weltall; denn es ist kein Grund vorhanden, den Raum, in welchen bis jetzt kein bewaffnetes Auge zu dringen vermochte, für leer an solchen Weltsystemen zu halten, sondern es ist, nach den Gesetzen der Schwere, der gegenseitigen Anziehung aller Weltkörper, welche durch jede Beobachtung immer mehr als ausnahmslos und allgemeingültig erkannt werden, die räumliche Unendlichkeit der Welt sogar nothwendig, um alle ihre einzelnen Sternsysteme im Gleichgewicht zu einander zu halten. Es ist daher die Annahme sehr wahrscheinlich, daß der Weltraum eine unbegrenzte Anzahl vereinzelter, großer Sterngruppen enthalte, deren einzelne Sterne ohne Zweifel in gewissen Beziehungen zu einander stehen und sich vielleicht um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, wie die Gruppen oder Weltinseln ihrerseits ebenfalls. So würde uns überall, im Großen

wie im Kleinen, das große Gesetz der Einheit in der Mannigfaltigkeit begegnen.

Die Nebel waren und sind noch vielen Astronomen ein Bild für die Sternbildung aus kosmischem Stoffe, aus verdichtetem, zusammengeballtem Himmelsdunste. A. v. Humboldt sagt in dieser Beziehung: „Sind die Nebelflecke elliptische oder kugelförmige Sterngruppen, so erinnern sie, durch ihre Conglomeration selbst, an ein räthselhaftes Spiel von Gravitationskräften, denen sie gehorchen. Sind es Dunstmassen mit einem oder mehreren Nebelkernen, so mahnen die verschiedenen Grade ihrer Verdichtung an die Möglichkeit eines Processes allmäliger Sternbildung aus ungeballter Materie. Kein anderes kosmisches Gebilde ist in gleichem Grade mehr geeignet, die Einbildungskraft zu beschäftigen: nicht etwa blos als symbolisirendes Bild räumlicher Unendlichkeit, sondern weil die Erforschung verschiedener Zustände des Seins und ihre geahnte Verknüpfung in zeitlicher Reihenfolge uns eine Einsicht in das Werden zu offenbaren verspricht."

Zahl und Größenclassen der Sterne.

5. Dem bloßen Auge sind am ganzen Himmel etwa 5000 bis 5800 Sterne sichtbar. Da wir aber auf einmal nur den halben Himmel übersehen (1), so sind so viele Sterne von einem Standpuncte aus zumal nicht sichtbar, sondern nur die Hälfte, oder etwa 2900. Diese Zahl erscheint offenbar nicht so groß, als es bei flüchtiger Beschauung des Himmels den Anschein hat; denn nimmt man den Monddurchmesser zu 31′ 8″ an, so bedecken etwa 97645 Vollmondflächen den halben Himmel, und man findet demnach, bei der Annahme gleichmäßiger Vertheilung der 2900 Sterne des halben Himmels, fast 34 Vollmondflächen für einen dieser Sterne. Allein die Sternmenge wächst zu Millionen an, wenn man den Himmel durch die jetzigen großen Fernröhre betrachtet. In dem Herschel'schen Spiegelteleskop mit 180maliger Vergrößerung nimmt man für den ganzen Himmel 30° nördlich und südlich vom Aequator 20374000 an, und ihre Zahl vergrößert sich beträchtlich in noch mächtigeren Instrumenten. W. Herschel hielt in einem noch größeren Teleskope, als das genannte, in der Milchstraße allein 18 Millionen Sterne für sichtbar. Es beruhen indeß diese Zahlen nicht auf directer Zählung, sondern auf Sternaichungen, d. i. auf einer eigen=

thümlichen Methode der Sternzählung in Beobachtungsfeldern von gleicher Größe, z. B. in einem von vier Haaren umgrenzten Quadrat eines Fernrohrs. Nach den Betrachtungen von Olbers nimmt das Licht der Fixsterne mit ihrer Entfernung ab; aus den Versuchen von Herschel über die Lichtabnahme dieser entfernten Weltkörper läßt sich schließen, daß wir den Weltenraum bis auf 10000 Siriusweiten mit Fixsternen angefüllt sehen, ohne seine Grenzen zu erreichen. Nimmt man daher an, daß jede Quadratsecunde einen Stern enthält, so müßten sich am ganzen Himmel 534600 Millionen befinden, was, wenn wir die Unendlichkeit des Weltraums berücksichtigen, eher zu wenig als zu viel sein dürfte.

„Es war," wie v. Humboldt bemerkt, „ein natürlicher, aber keineswegs gerechtfertigter Gedanke der ersten Beobachter, von dem stärkeren Glanze hellerer Fixsterne auf ihre bedeutendere Größe, und von dieser auf ihre größere Nähe zu schließen, und Größe und Lichtstärke als gleichbedeutend zu nehmen." Daß die hellsten Sterne die in Wirklichkeit größten, die nur im Fernrohr sichtbaren die wirklich kleinsten von allen seien, ist nicht durchgängig zu behaupten. Auch machen die Astronomen es sehr wahrscheinlich, daß viele von den Fixsternen, die in der That größer als andere sind, dennoch uns kleiner als diese erscheinen, sobald sie von uns entfernter sind, während wirklich kleinere Fixsterne sich größer zeigen müssen, weil sie nicht so weit als andere entfernt sind. Wenn daher das unbewaffnete Auge die Sterne als strahlende Puncte von verschiedener Größe sieht, so ist unter Größe Glanz, Lichtstärke zu verstehen, indem wir über die eigentliche Größe der Fixsterne kein bestimmtes Urtheil haben. Man schätzt demnach die Sterne nach ihrer Helligkeit und Lichtstärke, und theilt sie gewöhnlich in 6 Classen ein, so daß die hellsten unter ihnen Sterne erster Größe, die ihnen folgenden Sterne zweiter Größe u. s. f. genannt werden. Mit unbewaffnetem Auge erkennt man bei reiner Luft noch Sterne bis sechster Größe. Die noch weniger lichtstarken heißen teleskopische, weil sie blos im Fernrohr sichtbar sind. Es gibt nur 20 Sterne erster Größe, dann aber in jeder folgenden Classe 3 bis $3^1/_2$ mal so viel, als in der nächst vorhergehenden, so daß man 65 zweiter, 190 dritter, 425 vierter, 1100 fünfter, 3200 sechster Größe zählt. Die Zahl wächst mit abnehmender Größe, d. i. über die Grenze der Sichtbarkeit mit bloßen Augen, außerordentlich, so daß es der bekannten Sterne siebenter Größe schon 13080, der achter Größe 40850, der neunter 145800 gibt u. s. f. Man hat die

Lichtquantitäten mehrerer Sterne erster Größe, welche in unseren nördlichen Breiten in hinreichender Höhe erscheinen, zu bestimmen gesucht. Setzt man Wega im Sternbild der Leier = 1, so findet man: Sirius 5,13, Rigel, dessen Glanz im Zunehmen sein soll, 1,30, Arcturus 0,84, Capella 0,83, Procyon 0,71, Spica 0,49, Altair 0,40, Aldebaran 0,36, Deneb 0,35, Regulus 0,34, und Pollux 0,30.

Zur Bequemlichkeit der Beobachtungen hat man Sterncataloge oder Sternverzeichnisse angelegt, d. h. Sammlungen von Sternen, geordnet nach Rectascension und Declination (1), und zwar so, daß die Sterne in der Ordnung auf einander folgen, wie sie nach und nach durch den Meridian gehen.

Lichterscheinungen.

6. Schon dem oberflächlichen Beobachter erscheinen die Sterne zuweilen als still leuchtende Punkte, zuweilen so, als wenn eine starke Bewegung oder ein Wechsel des Lichtes stattfinde. Der letztere Zustand wird bekanntlich das Funkeln der Sterne (Scintillation) genannt. Es zeigt sich an Fixsternen stärker, als an den Planeten, und auffallender im Fernrohr, als dem bloßen Auge. Diese merkwürdige Erscheinung, welche gewöhnlich mit Veränderungen in der Farbe verbunden ist, und in einigen tropischen Ländern weit deutlicher und öfter, als in unsern Breiten, beobachtet wird, scheint nichts den Sternen Eigenthümliches zu sein, vielmehr in der Brechbarkeit der verschiedenen Luftschichten und der verschiedenen Länge des Weges, den die Lichtstrahlen zurückzulegen haben, ihren Grund zu haben.

Eine andere allbekannte Lichterscheinung an den Sternen sind die Sternschwänze, die wir von ihnen in mehreren Strahlen unter bestimmten Winkeln ausgehen sehen. Da die Einen nur 3 oder 4, Andere 5 bis 8 Strahlen sehen, so hängt offenbar die ganze Erscheinung von der Einrichtung unseres Auges, und die Zahl der Strahlen von der eigenthümlichen Organisation desselben bei jedem Einzelnen ab, und es kann geschehen, daß derselbe Mensch in verschiedenen Lebensperioden die Erscheinung verschieden sieht. Die Sternschwänze verschwinden beim teleskopischen Sehen, oder wenn das unbewaffnete Auge das Licht der strahlenden Sterne durch ein sehr kleines mit einer Nadel in eine Karte gemachtes Loch empfängt. Die Sterne erscheinen dann als leuchtende Puncte und nur

wenige stellen sich als überaus kleine Scheiben dar. „Die Strahlung der Sterne erhöht indessen die Pracht der leuchtenden Himmelsdecke; bei einer völligen Abwesenheit aller Sternstrahlung würde das Himmelsgewölbe verödet erscheinen.“

Auch die Farbenverschiedenheit der Sterne ist ein Schmuck des Himmels. Bekanntlich spielen alle Sterne, wenn sie dem Horizonte nahe sind, in röthlichen und anderen Farben, was seinen Grund in den Dünsten unserer Atmosphäre hat. Aber auch höher stehende Sterne erscheinen verschieden gefärbt, und von diesen ist hier die Rede. Bestimmter läßt sich darüber im Fernrohr, als durch das bloße Auge, urtheilen, wenn eine völlig heitere Nacht, und ein günstiger Stand der Gestirne dem Beobachter zu Hülfe kommen. Die Farben sind weiß, roth und röthlich, gelb, blau, grün und violett, doch sind diese Farbenunterschiede stets nur schwach, und die neunte Größe ist die äußerste Grenze, bei welcher sich noch eine andere Farbe, als die weiße, erkennen läßt. Unter den größeren Sternen sind z. B. Sirius, Wega, Regulus entschieden weiß, Aldebaran, Arctur und Beteigeuze roth, Procyon, Capella und der Polarstern gelb. Doppeler will entdeckt haben, daß die farbigen Sterne und ihre einzelnen vorherrschenden Färbungen mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit am Himmel vertheilt sind, und daß in der Himmelsgegend, nach welcher sich unser Sonnensystem hinbewegt, vorzugsweise viele blaue und violette Sterne erscheinen, während in der entgegengesetzten Richtung, von wo die Fortbewegung herkommt, unter den farbigen Sternen die orangenen und rothen vorherrschen. Die verschiedenen Sternfarben werden erklärt durch die verschiedene Anzahl von Lichtwellen, die in einer Secunde unser Auge treffen, ähnlich wie die verschiedene Anzahl von Schallwellen, die in einer Secunde an unser Ohr gelangen, die verschiedene Höhe der Töne bedingt. Durch sinnreiche Methoden ist es möglich geworden, die Zahl der Wellenschwingungen, welche durch die einzelnen Lichtstrahlen in bestimmten Zeiträumen hervorgebracht werden, annäherungsweise zu berechnen, und man hat nach der Zahl der Schwingungen für die Secunde aufsteigend die Farbenscale roth, gelb, grün, blau und violett erhalten. Nachstehende Tabelle zeigt in der ersten Reihe die Breite der Lichtwellen, welche die verschiedenen Strahlen im Aether erregen, in Bruchtheilen englischer Zolle, in der zweiten die Zahl der Wellen, welche in der Breite eines englischen Zolls enthalten sind, und in der dritten die Zahl der Aetherwellen, welche in einer Secunde erregt werden.

Rother Strahl	. . 0,000026	. . 38460	. . 478 Billionen
Oranger „	. . 0,000024	. . 41600	. . 506 „
Gelber „	. . 0,000023	. . 44000	. . 535 „
Grüner „	. . 0,000021	. . 47500	. . 577 „
Lichtblauer „	. . 0,000020	. . 51000	. . 622 „
Indigo „	. . 0,000018	. . 54100	. . 658 „
Violetter „	. . 0,000017	. . 57500	. . 700 „

Hieraus folgt, daß die vom rothen Lichte erregten Aetherwellen die breitesten, jene des violetten Lichtes die schmalsten sind; daß demnach in der Breite eines Zolles von rothem Lichte eine geringere Anzahl erregter Aetherwellen als von violettem vorhanden sein müssen; endlich daß die schmäleren Wellen des violetten Lichtes mit größerer Geschwindigkeit auf einander folgen, im Verlauf einer Secunde daher eine größere Zahl von diesen als von den Wellen des rothen Lichtes erzeugt werden. Die andern Strahlen halten das Mittel zwischen diesen Extremen. — Hiernach wären also, wie Doppeler annimmt, die Färbungen der Sterne nicht Farbenunterschiede an ihnen selbst, sondern hervorgebracht durch die Bewegung der Erde mit dem Sonnensystem, indem das Licht der Sterne, gegen welche die Bewegung geschieht, uns darum blau oder violett erscheine, weil seine Geschwindigkeit durch die ihm entgegenkommende Bewegung der Erde vermehrt werde, und umgekehrt. Der jüngere Herschel glaubt, daß die verschiedenen Sternfarben hervorgerufen werden durch optische Täuschung als complementäre, die sich gegenseitig zu weiß ergänzen. Allein es scheinen die Färbungen den Sternen, wenigstens den meisten, eigen zu sein; denn wahre Doppelsterne, die relativ nahe bei einander und in derselben Richtung zur Sonnenbahn liegen, zeigen dennoch entgegengesetzte Färbungen, was gegen die Ansicht von Doppeler spricht, und wäre die andere Ansicht richtig, so könnte von zwei verschiedenfarbigen Doppelsternen der eine nicht seine Farbe behalten, wenn der andere im Brennpunkte des Fernrohrs mit einem Faden oder Diaphragma bedeckt wird.

Die sonderbare Erscheinung des Schwankens der Sterne, die wohl schon von Manchem gesehen, aber erst von A. v. Humboldt im Juni 1799 auf dem Pic von Teneriffa mit wissenschaftlichem Auge beobachtet worden ist, mag hier gleichfalls seine Stelle finden. „In einer Höhe von 10700 Fuß," erzählt er, „sah ich mit unbewaffnetem Auge tief stehende Sterne in einer wunderbar schwankenden Stellung. Leuchtende Punkte stiegen auf-

wärts, bewegten sich seitwärts und liefen an die vorige Stelle zurück. Das Phänomen dauerte nur 7 bis 8 Minuten und hörte auf, lange vor dem Erscheinen der Sonnenscheibe am Meereshorizonte. Dieselbe Bewegung war in einem Fernrohr sichtbar; und es blieb kein Zweifel, daß es die Sterne selbst waren, die sich bewegten." Fast nach einem halben Jahrhundert ist dieselbe Erscheinung und an demselben Orte vom Prinzen Adalbert von Preußen mit bloßen Augen und im Fernrohr beobachtet worden; und im Januar 1851 sahen Abends zwischen 7 und 8 Uhr vor Aufgang des Mondes zwei zuverlässige Personen in Trier den Sirius gleichfalls in einer schwebenden Bewegung, indem der Stern bald auf-, bald abwärts ging, bald nach der linken, bald nach der rechten Seite hinschwankte, bald auch in einem Kreise sich zu bewegen schien. Dieses Phänomen, wenn auch bis jetzt nicht näher erklärt, gehört jedenfalls zu den Himmelserscheinungen, welche durch besondere Zustände der Atmosphäre bedingt sind; es wird dies um so wahrscheinlicher, als bei der Beobachtung in Trier der Sirius an Glanz bald zu-, bald abnahm, bisweilen sogar auf Augenblicke verschwand, obgleich der Himmel heiter war.

Veränderliche und neue Sterne.

7. Eine sehr auffallende, aber seltene Erscheinung sind bei manchen Sternen die Aenderungen im Glanze, oder in der Größenclasse. Natürlich sind damit diejenigen Veränderungen nicht gemeint, welche ihren Grund in der verschiedenen Tages- und Jahreszeit, sowie in der ungleichen Durchsichtigkeit der Atmosphäre und der veränderlichen Höhe der Gestirne, sondern Veränderungen, welche ihre Ursache außerhalb unsers Luftkreises haben. Bei einigen dieser Sterne sind bereits kürzere oder längere Perioden der Veränderlichkeit erkannt; bei andern dagegen ist in diesem Wechsel keine Periodicität entdeckt worden; noch andere endlich sind neu erschienen und nicht wieder verschwunden, oder neu erschienen und wieder verschwunden, da mehrere in älteren Sterncatalogen verzeichnete Sterne jetzt vermißt werden. Hinsichtlich der letzten Classe von Sternen muß vor Allem der Gedanke fern gehalten werden, als wären sie wirklich neu entstanden oder vernichtet worden, vielmehr gehören alle die genannten Erscheinungen wahrscheinlich nur einer Classe von Veränderungen an,

nämlich einer Veränderlichkeit der Lichtstärke, welche bis zu scheinbarem Verschwinden oder plötzlichem Hellauflodern sich steigern kann.

Was zuerst die neuen Sterne betrifft, so gehören sie zu den allerseltensten Naturbegebenheiten, weshalb auch vor Erfindung des Fernrohrs nur 13, seit derselben nur 2 beobachtet worden sind, und es muß hinsichtlich ihrer der Umstand als eine besondere und zu beachtende Eigenthümlichkeit angesehen werden, daß fast alle mit einer außerordentlichen Lichtstärke, als Sterne erster Größe und selbst stärker funkelnd wie diese, auflodern, und daß man sie, wenigstens für das bloße Auge, nicht allmälig an Helligkeit zunehmen sieht. Einer dieser neuen Sterne, der tychonische, wurde am 11. Nov. 1572, in der Cassiopeja, zuerst beobachtet. Er zeigte sich plötzlich, übertraf alle anderen und selbst den Abendstern an Glanz, man konnte ihn sogar bei Tage bequem sehen und Nachts durch mäßige Wolken. Im folgenden Jahre nahm sein Glanz allmälig ab, und nach 17 Monaten im März 1574, war er für das bloße Auge spurlos verschwunden; denn das Fernrohr ist erst um das Jahr 1608 erfunden worden. Nach langen Zwischenräumen hatte dieser Stern eine andere, gelbe, rothe und dann wieder weiße Färbung angenommen. Ein anderer neuer Stern, an den sich auch ein großer Name knüpft, der kepler'sche, wurde am 10. October 1604 im östlichen Fuß des Schlangenträgers zuerst gesehen. An Helligkeit stand er dem tychonischen nach, aber sein Funkeln war um Vieles stärker und erregte besonders das Erstaunen aller Beobachter. Zwischen Februar und März 1606 verschwand er spurlos. Ein farbiges, wechselndes Licht hatte er nicht, sondern war stets weiß. In neuester Zeit, am 28. April 1848, ist von Hind in London ein neuer, röthlich gelber Stern entdeckt worden von fünfter Größe, der 1850 kaum noch elfter Größe und dem Verschwinden nahe war. Bei keinem anderen neu erschienenen Stern ist die Neuheit der Erscheinung und die Unveränderlichkeit seiner Position mit mehr Genauigkeit erwiesen worden, wie bei diesem.

Was die veränderlichen Sterne betrifft, so erhielt der erste, o im Wallfisch, an welchem vor Dritthalbjahrhunderten eine Veränderung der Lichtstärke entdeckt wurde, davon den Namen des Wunderbaren (mira). Er braucht 40 Tage, um von der sechsten bis zur zweiten und dritten Größe zu wachsen, 66 hingegen, um wieder bis zur sechsten abzunehmen, und nimmt in einer Periode von 331,96 Tagen von einem Stern zweiter Größe bis zur gänzlichen Unsichtbarkeit ab. Er zeigt große Unterschiede der Helligkeit im

Maximum, indem er einmal nur wenig schwächer als ein Stern erster Größe und gar nicht selten heller als Sterne zweiter Größe gesehen wurde. Bis jetzt zählt man nach Argelander, 24, nach J. Herschel, 45 veränderliche Sterne mit mehr oder weniger befriedigend bestimmten Perioden, die bei manchen wieder veränderlich sind, doch in der Art, daß diese Veränderlichkeit in ihrer scheinbaren Unregelmäßigkeit bestimmten Gesetzen folgt. Unter diesen Sternen sind, außer Mira, die wichtigsten: der Stern χ im Schwan, δ Cepheus, η Adler, ξ Zwillinge, β Leier, Alphard (α große Wasserschlange), Schedir (α Cassiopeja), Ras-Algethi (α Hercules), ε Fuhrmann, Rigel und Beteigeuze.

Es ist, nach A. von Humboldt, keineswegs unwahrscheinlich, aber auch nicht nothwendig, daß die genannten Erscheinungen ganz ähnliche Ursachen in der Lichthülle jener fernen Sonnen oder in der Natur ihrer Oberfläche haben. Welches aber diese Ursachen seien, ist ungewiß. Vielleicht rühren die Lichtperioden der Fixsterne von großen Flecken her, ähnlich denjenigen unserer Sonne, vielleicht auch vom Einfluß umkreisender, dunkler, großer Himmelskörper, oder, wenn das Selbstleuchten aller Sonnen des Firmaments Folge eines electro-magnetischen Processes ist, so kann man sich diesen Lichtproceß als mannigfaltig verschieden, einmalig oder periodisch, regelmäßig oder unregelmäßig wiederkehrend denken, ähnlich den electrischen Lichtprocessen des Erdkörpers, die neben vieler unregelmäßig scheinender Veränderlichkeit doch oft ebenfalls eine gewisse von Jahreszeiten und Tagesstunden abhängige Periodicität zeigen. Manche Astronomen erklären die Erscheinungen, welche die veränderlichen Sterne darbieten, durch eine Achsendrehung der als linsenförmig vorausgesetzten Sterne, verbunden mit starker Schwankung dieser Achsendrehung. Am meisten Wahrscheinlichkeit dürfte die Meinung für sich haben, welche die veränderlichen Sterne von großen, dunkeln Körpern umkreisen läßt, deren Vorhandensein in der Fixsternwelt Bessel annimmt. In Betreff der verschwundenen Sterne wäre die Annahme ihres Unterganges aus dem Grunde, weil wir sie nicht mehr sehen, ein übereilter Schluß; ihr Verschwinden kann so gut eine Folge eigener Bewegung, als eine solche Schwächung ihres Lichtprocesses sein, daß die Lichtwellen unser Auge nicht mehr hinlänglich anregen.

Die Fixsterne und ihre Entfernung.

8. An der prachtvoll leuchtenden Himmelsdecke besteht weitaus die größte Anzahl der Sterne aus Fixsternen. Beobachtungen lehren, daß ihr Licht, trotz der verschiedenen Farben, wesentlich gleicher Natur ist, wenn es auch quantitativ verschieden sein mag. Es pflanzt sich von allen Sternen nach allen Richtungen und in geraden Linien fort, mit der ungeheuer großen, aber doch meßbaren Geschwindigkeit von 41500 Meilen in der Secunde, die für Lichtwellen von allen Weltkörpern die nämliche ist; es ist von großer Intensität in der Nähe, immer schwächer werdend im Verhältniß des Quadrats der Entfernung. Da die Lichtwellen aber sehr klein sind, so kann man bei einem Unterschiede von nur wenigen Wellenlängen die Größe der Schwingungen sowohl als die Stärke des Lichteindrucks für unverändert betrachten; selbst der Sonne kann man sich an der Erdoberfläche nicht so weit nähern, daß ein Unterschied in der Intensität ihres Lichtes bemerkbar wird. Daß die Fixsterne, trotz ihrer ungeheuren Entfernungen und bei ihren für uns ganz unmerklichen scheinbaren Durchmessern, gleichwohl mit einem so intensiven Lichte leuchten, berechtigt zu dem Schlusse, daß ihr Licht kein erborgtes sei, wie das unsers Mondes, sondern eigenes Licht, wie das der Sonne, daß sie selber also Sonnen seien. Diese Folgerung ist zur wissenschaftlichen Evidenz erhoben worden, seitdem man das Mittel gefunden hat, das eigene vom bloß erborgten Lichte der Weltkörper zu unterscheiden. Die Strahlen der letzteren zeigen sich nämlich als polarisirtes Licht, wie man es unter anderen durch doppelte Strahlenbrechung und auf mehrere andere Weisen erhält.

Die Entwicklung der Fixsterne, wie aller übrigen Himmelsgebilde, ist, nach Einigen, einem rohen mechanisch-chemischen Ineinanderwirken der Atome, aus denen sie bestehen, und einem hieraus nothwendig folgenden zufälligen Verlauf überlassen; nach Anderen aber haben wir in ihnen eine höchste, sie durchdringende und beherrschende Einheit anzunehmen, welche nach inwohnenden Gesetzen, obschon bewußtlos, plastisch wirkt und die Entwicklung regelt, welche vom Ursprung an in jedem Weltkörper vorhanden ist, aber im Weltraum entsteht, und deren sinnlicher Ausdruck in der Größe, Dichtigkeit, den Bewegungen und Verhältnissen eines Weltkörpers zu anderen seines Systems gegeben ist. Durch die Wirkung von Kräften entstehen alle die wunderbaren

kosmischen Organismen, welche den Weltraum erfüllen, und bei aller Größe und Schwere ihrer Massen mit der Leichtigkeit des Gedankens durch die ätherischen Regionen ziehen. Alle Entfernungen und alle Zeiten, nach welchen menschliche Verhältnisse gemessen werden, verschwinden gegen die ungeheuren Abstände der Fixsterne von einander, und gegen die Milliarden von Jahren, welche ihnen zu ihrer Ausbildung und zu ihrem Dasein gegeben sind.

Man glaubt es zu sehen, daß die Fixsterne nicht gleich weit von uns entfernt sind. Indessen sind, wie wir wissen (5), diejenigen erster Größe darum nicht immer die uns nächsten. Parallactische Messungen sind eines der Mittel, um über Sternentfernungen Aufschluß zu erhalten. Parallaxe eines beobachteten Gegenstandes nennt man überhaupt jede Veränderung seiner scheinbaren Lage, die von einer Veränderung des Standpunctes herrührt; besonders aber heißt Parallaxe der Unterschied der beiden Winkel, unter welchen man einen Gegenstand aus den beiden Endpuncten einer geraden Linie sieht, oder auch derjenige Winkel, unter welchen ein Auge auf jenem Gegenstande diese gerade Linie sehen würde. Die größte Standlinie auf der Erde für Gegenstände am Himmel ist ihr Durchmesser; aber nur wenige, nämlich die näheren Planeten, zeigen eine meßbare Parallaxe in Beziehung auf denselben, bei allen Fixsternen ist sie für das Auge so gut als null. Da von Sternparallaxen mehrmals die Rede sein muß, so ist es gerade hier am Platz, zu zeigen, wie dieselben gefunden werden. Es sei der Kreis ABD (Taf. I, Fig. 10.) der Ortsmeridian (1) des Beobachters in A, C der Mittelpunct der Erdkugel und der Kreisbogen HI ein Stück des als unendlich entfernt angenommenen Sternhimmels. In M stehe der Mond, aAa' ist dann der scheinbare, FCD aber der wahre Horizont (2) von A. Steht nun der Mond in M, so geht er für A auf und wird an der Himmelskugel da gesehen, wo der Stern a steht. Vom Erdmittelpunct C aus würde man den Mond M in der Richtung CMb, also am Himmel in b erblicken. Nun ist der Winkel AMC gleich dem Winkel aMb, beide geben mithin den Unterschied der beiden Gesichtslinien AM und CM an, der Winkel AMC heißt die Horizontalparallaxe des Punctes M in Beziehung auf den Erdhalbmesser CA, weil sie für den Augenblick, da das Gestirn in M für A aufgeht, den Unterschied der Richtungen angibt, nach welchen der Mond von C (γ) aus gesehen wird. Die Größe der Horizontalparallaxe wird offenbar durch den Bogen ab bestimmt. Ist durch viele sorgfältig angestellte Beobachtungen der Winkel AMC genau bestimmt, so kann man, da CA der

bekannte Halbmesser der Erde ist, das bei A rechtwinklige Dreieck MAC zeichnen, indem Winkel MCA = 90° weniger Winkel AMC ist. Stellt CA die Länge von 860 geographischen Meilen in verjüngtem Maßstabe dar, und legt man in A einen rechten Winkel, in C aber den Winkel ACM an, so wird sich das Dreieck MAC von selbst, also auch die gesuchte Entfernung CM des Mondes M vom Mittelpunct C der Erde ergeben, und zwar in, geographische Meilen vorstellenden, Theilen des gebrauchten verjüngten Maßstabes. Umgekehrt würde, wenn CM bekannt wäre, der Halbmesser CA der Erde gefunden werden können. Es leuchtet übrigens wohl von selbst ein, daß Genauigkeit und Schärfe in Bestimmung der Entfernung weniger durch Zeichnung, als durch trigonometrische Rechnung erhältlich ist. — Steht der Mond in M′, so wird M′ von A aus in der Richtung AMC und an der Himmelskugel in c gesehen, folglich gibt der durch den Bogen ac gemessene Winkel cAa die Höhe des Mondes in M. Vom Erdmittelpunct C würde der Mond M′ in der Richtung CM′d und am Himmel in d gesehen. Der Winkel AM′C, welcher mit dem ihm gleichen Winkel cM′a den Unterschied der Gesichtslinien CM′ und AM′ angibt, heißt die Höhenparallaxe von M′, weil sie für den Augenblick, wo das Gestirn in M′ sich befindet, den Unterschied der aus C (δ) und A angenommenen Höhen des Mondes M′ angibt. Die Größe dieser Höhenparallaxe wird offenbar durch den Bogen cd bestimmt. Stände der Mond in M″, also im Zenith von A, so würde auch für einen Beobachter in c der Mond im Zenith stehen, und der Mond würde, da die Gesichtslinien AM″ und CM″ zusammenfallen, keine Höhenparallaxe haben. In der Astronomie heißen die Horizontal- und Höhenparallaxe eines Gestirns die tägliche Parallaxe desselben. — Auf die beschriebene Weise hat man für den Mond eine Entfernung von etwa 60, für die Sonne die gegen 400 mal größere Entfernung von 24000 Erdhalbmessern ermittelt, welche man auch schlechtweg Sonnenweite nennt.

Da die Parallaxe der Fixsterne in Beziehung auf den Erdhalbmesser für unser Auge gleich null ist, so ist für sie eine größere Standlinie nöthig. Diese, der Erdbahndurchmesser, ist gegeben mit dem Umlauf der Erde um die Sonne, und sie beträgt zwei Sonnenweiten, oder reichlich 41 Millionen Meilen, womit man die Parallaxe der Fixsterne, die man die jährliche nennt, suchte. Die ersten Versuche mißlangen indessen alle, und man schloß daraus, daß alle Fixsterne, auf welche man die Methode angewandt hatte, über 200000 Sonnenweiten, d. i. über 4 Billionen Meilen, von uns ent-

fernt seien, eine Entfernung, die man Sternweite nennt. Beharrliche Ausdauer, bewundernswerthe Vervollkommnung der Instrumente und der Methode haben indessen zu dem erwünschten Resultate geführt. Den rastlosen Bemühungen Bessel's ist es im Jahre 1838 gelungen, durch ein äußerst complicirtes Verfahren die erste Parallaxe eines Fixsterns, die des Doppelsterns 61 im Schwan, zu finden. Er bediente sich dabei des sinnreichen Hilfsmittels, die Lichtwege des Doppelsternpaares, auf dessen Bahnebenen wir von der Erde aus sehr schräg sehen, zu messen. — Eine andere Methode zur Bestimmung der Fixsternentfernung beruht auf der Schätzung der Lichtstärke, bedarf aber einer auf andere Weise bestimmten Maßeinheit, um irgend ein numerisches Resultat zu liefern; denn aus dem Helligkeitsverhältniß folgt an und für sich nichts, wie 61 im Schwan zeigt, der nur sechster Größe ist.

Der nächste bekannte Fixstern ist α Centauri am südlichen Himmel, ein Stern erster Größe, und mit einer Parallaxe von 0",9128. Er ist uns dreimal näher als 61 im Schwan, der eine Parallaxe von 0",3744 hat, wie Bessel sie bestimmt hat. Entfernter von uns, als 61 im Schwan, ist der glänzendste aller Fixsterne, der Sirius, dessen Parallaxe nur 0",230 beträgt, also weniger als $^1/_4$ Secunde. Der erstere dieser drei Sterne ist über 4 Billionen Meilen von uns entfernt, was als die mittlere Entfernung eines Sternes erster Größe (Sternweite) betrachtet wird. Der Stern 61 im Schwan ist über 11 Billionen und Sirius über 16 Billionen Meilen von uns entfernt. Wenn das Licht, welches in 8' 17",78 von der Sonne zur Erde gelangt, in einer Secunde einen Raum von 41518 Meilen (nach Struve's neuesten Untersuchungen), oder $^4/_5$ der Entfernung des Mondes von der Erde durchläuft; so braucht es, um von α Centauri zu uns zu kommen, über 3 Jahre, von 61 im Schwan $8^7/_{10}$ Jahre, und vom Sirius fast 13 Jahre. Andere Sterne sind so unermeßlich weit von uns entfernt, daß ihr Licht erst nach Jahrhunderten bei uns anlangt. Wir sehen also α Centauri, 61 Cygni und den Sirius jetzt so, wie diese Sterne vor beiläufig 3, 9 und 13 Jahren waren; würde der Sirius plötzlich erlöschen, so würden wir ihn noch 13 Jahre hindurch mit seinem heutigen Glanze leuchten sehen. Denken wir uns einen Stern in der noch mäßigen Entfernung von 200 Sternweiten, so braucht sein Licht von ihm zu uns mehr als 600 Jahre, und wir sehen ihn in seinem Zustande vor sechs Jahrhunderten. Es darf sogar nicht bezweifelt werden, daß Vieles von dem, was

uns das Fernrohr am Himmel zeigt, so weit von uns entfernt ist, daß viele Jahrtausende vergehen, bis das Licht den Weg von dort zu uns zurückgelegt hat. Aus solchen Betrachtungen folgt nun, daß unser Blick, indem er in die unermeßlichen Tiefen des Weltalls dringt, in altersgraue Zeiten zurückgeht, weiter zurück, als die meisten geschichtlichen Denkmäler der Menschen. Es folgt ferner, daß wir Ungleichzeitiges am Himmel sehen, den einen Gegenstand so, wie er jetzt oder vor mehreren Jahren, den anderen, wie er vor Jahrhunderten, wieder einen anderen, wie er vor Jahrtausenden war. Cotta veranschaulicht dies auf folgende Weise: „Könnten", sagt er, „Bewohner jener entfernten Sterne durch Vermittlung des Lichts die Ereignisse auf unserer Erde genau studiren, so würden sie keine Spur von den politischen, socialen und kriegerischen Bewegungen der Gegenwart wahrnehmen, sondern heute etwa das römische Reich, wie es sich zum dritten punischen Kriege rüstet. Und wenn jene Sterne uns einen Spiegel vorhielten, in welchem wir die Vorgänge auf unserer Erde erblickten, so könnten wir darin etwa der Erbauung von Babylon mit eigenen Augen zusehen."

Die photometrischen oder Helligkeitsverhältnisse der selbstleuchtenden Himmelskörper sind schon lange ein Gegenstand wissenschaftlicher Beobachtung gewesen. Mittelst einer photometrischen Vergleichung des Mondes mit dem Doppelstern α Centauri fand J. Herschel den Vollmond 27000 mal heller als α Centauri. Nun ist, nach Wollaston, die Sonne 801072 mal lichtstärker als der Vollmond, woraus folgt, daß das Licht, welches uns von der Sonne zugesendet wird, sich zu dem, was wir von α Centauri empfangen, ungefähr verhält, wie 22000 Millionen zu 1. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, wenn man nach seiner Parallaxe die Entfernung des Sternes in Anschlag bringt, daß dessen absolute Leuchtkraft die unserer Sonne um 3,3 mal übersteigt. Die Helligkeit des Sirius hat Wollaston 20000 Millionen mal schwächer gefunden, als die der Sonne; nach dem aber, was man von der Parallaxe des Sirius zu wissen glaubt, übertrifft seine absolute Lichtstärke die der Sonne 63 mal. Unsere Sonne gehört mithin nach der Intensität ihres Lichtprozesses zu den schwachen Fixsternen. Sie ist aber auch nicht einer der größten. Hätte ein Fixstern eine Parallaxe von 2" und einen scheinbaren Durchmesser von $^1/_{10}$", so würde sein Halbmesser 11 mal größer als der der Sonne sein. Herschel hielt den scheinbaren Halbmesser von Wega in der Leier $= {^1/_6}$". Nimmt man die Entfernung dieses Sterns gleich einer Sternweite (sie ist jedoch

größer), so würde sein wahrer Halbmesser 34 mal größer als der der Sonne sein. Wäre die Wega nur so groß wie unsere Sonne, und ihr scheinbarer Halbmesser doch 1/6", so müßte die Parallaxe derselben 36" sein, was längst beobachtet worden wäre. Die Wega ist aber weiter als eine Sternweite entfernt; denn nimmt man die Entfernung der Erde von der Sonne zu 1 Fuß an, die des Uranus zu 19 Fuß, so würde die Wega 34½ geograph. Meilen von uns entfernt sein.

Bedenkt man, daß die meisten Fixsterne an Größe unserer Sonne, welche 192700 Meilen im Durchmesser hat, vielleicht gleich kommen, viele sie übertreffen, und daß von ihnen ein jeder vom andern wenigstens um eine Sternweite entfernt ist; so ergiebt sich eine Raumerfüllung, welche weit über unser Fassungsvermögen hinausgeht. Das Weltall ist in der That unendlich, aber wir kennen davon nur ein Stück. Denn unsere Weltkenntniß hat ihre natürlichen Grenzen, welche durch die Entfernungen gesteckt sind, bis in welche sich Gegenstände am Himmel wahrnehmen lassen. Die Wahrnehmbarkeit aber hört auf ebenso sehr mit der Sehkraft, wie mit dem Lichte. Jenseits dieser Grenze ist darum das Weltall nicht zu Ende und fängt das Unwirkliche, das leere Nichts an, oder irgend etwas anderes Wirkliches, weil dieses ja ebenfalls zum allerfüllten Universum gehören müßte.

Doppelsterne.

9. Seit Newton die Gesetze der Schwere und Planetenbewegung festgestellt, hat sein System manche wichtige Erweiterungen erfahren. Es ist seitdem entdeckt worden, daß die Bewegungsgesetze auch jenseits des Sonnensystems gelten. Wir wissen jetzt, daß unter den heiteren Welten, die der gewöhnlichen Wahrnehmung so unbeweglich und ruhig erscheinen, nichts von dem, was wir Ruhe nennen, zu finden ist, daß vielmehr auch die Fixsterne sich bewegen und daher eigentlich keine Fixsterne mehr sind, daß sie nicht nur als Doppel- und mehrfache Sterne sich gegenseitig umkreisen, sondern auch auf noch unbestimmten Bahnen rastlos vorwärts eilen.

Unter der großen Menge von Sternen werden nämlich häufig solche gefunden, die einander sehr nahe stehen und durch ein gemeinsames Band, durch gegenseitige Anziehung mit einander verbunden sind. Es sind die Doppel- und mehrfachen Sterne, welche zusammengehörige kleine

Systeme von Sonnen ausmachen. Die gegenseitige Anziehung (2) ruft nothwendig Bewegungen der Doppelsterne um einander in geschlossenen krummen Bahnen hervor, ähnlich wie zwei in die Luft geschleuderte Kugeln, welche durch eine Kette mit einander verbunden sind, sich um einander bewegen. Sind dergleichen Kugeln gleich schwer, so liegt der gemeinschaftliche Schwerpunct, um den sie schwingen, in der Mitte ihrer Entfernung; ist aber die eine schwerer als die andere, so rückt er jener näher und fällt bei großer Ungleichheit sogar in sie hinein. Wie zwei solche Kugeln bewegen sich auch die Doppelsterne um einen gemeinschaftlichen Schwerpunct, in ihren Bahnen erhalten durch die Gesetze der Gravitation. Zur Veranschaulichung solcher Umlaufsbewegungen dient Taf. I, Fig. 12. a, b und c. Viele Doppelsterne sind zwar bloß optische, d. i. solche, die in keiner näheren Beziehung zu einanderstehen, und deren scheinbare Nähe nur daher rührt, daß die zu ihnen gehenden Gesichtslinien nahe zusammenfallen. Nicht von diesen, sondern von den physischen Doppelsternen ist hier die Rede, welche in Wirklichkeit näher beisammen stehen, eine ganz gleiche Eigenbewegung im großen Weltraume haben und, durch die Gravitation mit einander verbunden, sich zugleich um einander drehen, wie die Planeten um die Sonne. Mit Gewißheit wird ein Doppelstern als ein physischer erkannt, wenn die Beobachtungen uns überzeugen, daß die Bahn seiner Bewegung eine stärkere Abweichung von der geraden Linie zeigt als die, welche Beobachtungsfehler bewirken können, und wenn die Bahn zugleich gegen den Hauptstern hin hohl ist. Der Abstand der Doppelsterne beträgt von wenigen bis über 40 Bogensecunden, so daß sehr viele als doppelte und mehrfache Sterne nur im Fernrohr erkannt werden. Der Stern β in der Leier besteht aus zwei Paaren, ebenso ein Stern im Schwan; zuweilen bilden drei Sterne ein zusammengehöriges System, so im Orion, im Luchs und in der Cassiopeja. Eines der interessantesten Schauspiele in dieser Beziehung bietet ϑ des Orion, ein Doppelstern, der dem unbewaffneten Auge einfach erscheint, in Wirklichkeit aber aus 6 kleinen vielfarbigen Sternen besteht, deren Bahnen indeß noch unbekannt sind. In den drei- und mehrfachen Systemen sind gewöhnlich die entfernten Begleiter die schwächeren, während die näheren sich oft wenig oder gar nicht vom Hauptstern unterscheiden. In den Systemen der Sonne, des Jupiter, des Saturn waltet der entgegengesetzte Grundsatz, denn die entfernteren Körper sind hier die bedeutenderen. Zu bemerken ist noch, daß bei den Doppelsternen meistens der eine Stern kleiner ist als der andere, so daß z. B. beim

Polarstern, der auch ein Doppelstern ist, der eine zur zweiten, der andere zur elften Größe gehört.

Die Zahl der Doppelsterne ist groß, und unter den hellen Sternen finden sich derselben mehr als unter den schwächeren. Am ganzen Himmel sind, optische und physische zusammengenommen, etwa 6000 bekannt. Schon W. Herschel maß 450, in neuerer Zeit hat Struve ein Verzeichniß von nahe an 3000, und J. Herschel von 2100 herausgegeben.

Die Umlaufszeiten mehrerer Doppelsterne sind aus ihren theilweise beobachteten Bahnen berechnet worden. Die des ω im Löwen und η der Krone betragen über 300 Jahre, die von p des Schlangenträgers nur 50 bis 60 Jahre. Die Zahl der berechneten Doppelsternbahnen wird gegenwärtig auf 14 bis 16 angegeben. Von den 3000 Doppelsternen Struve's ist die Umlaufsbewegung erst bei 200 bis 250 nachgewiesen, und bei manchen können Jahrhunderte verstreichen, ehe auch die allergenaueste Beobachtung eine solche Bewegung wahrnehmen läßt. Es wird dies nicht überraschen, wenn man Folgendes bedenkt. Der Stern 61 Cygni hat eine Parallaxe von etwa $^1/_3$ Secunde, d. i. es erscheint ein linearer Raum von über 41 Millionen Meilen, in der Entfernung dieses Fixsterns gesehen, nur noch $^1/_3$" groß, woraus folgt, daß dieser Stern unter den benachbarten Sternen progressiv über 41 Millionen Meilen fortrücken muß, ehe uns der zurückgelegte lineare Weg im Bogen $^1/_3$" groß erscheint. Wie muß sich also dieses Verhältniß gestalten bei Sternen, die viel entfernter sind als 61 im Schwan, welcher zu den näheren Fixsternen gehört? Man wird daher leicht begreifen, da das Fernrohr erst um 1608 erfunden worden, und die feineren Meßinstrumente und genaueren Rechnungsmethoden aus neuerer Zeit datiren, warum von so wenigen Doppelsternen ihre Umlaufsbewegungen und Umlaufszeiten bekannt sind.

Eine merkwürdige Eigenthümlichkeit der Doppelsterne ist das Vorkommen verschiedenartiger Farben unter denselben. Die meisten zwar sind weiß, viele andere aber sehr häufig gelb und blau, rothgelb und grün u. s. w. Da die Doppelsterne ohne allen Zweifel Sonnen sind, um die, wie um unsere Sonne, für uns unsichtbare Planeten laufen, so müssen deren Bahnen, da sie von den beiden oder mehreren Sonnen, je nach ihrer Masse, verschieden stark angezogen werden, ungemein verwickelt und mannigfaltig sein, Ellipsen oder Hyperbeln von der verschiedensten Gestalt, manchmal in sich verschlungene, in sich zurückkehrende Doppellinien, oder gar Spiralen darstellen, deren Bestimmung

unserer Analysis unmöglich fallen würde. Diese Planeten sind also nicht nur vielsonnig, sondern die verschiedenfarbigen Sonnen müssen auch den Bewohnern ihrer Planeten ein wunderbares Schauspiel ihres Auf- und Unterganges geben und ihnen, bei der verschiedenfarbigen Erleuchtung, bunte Tage bringen.

Unsere Weltinsel.

10. Die große Menge von Sternen, welche uns näher sind als die Sternhaufen und Nebelflecke, bieten dem Astronomen nur zwei Haupterscheinungen dar, die er durchforschen kann, Bewegung und Erleuchtung, welche in ihren Gesetzen überall Uebereinstimmung zeigen (2); die Masse dieser fernen Weltkörper ist uns unbekannt, und wir können darüber nur willkürliche Vermuthungen haben. Alle diese Sterne bilden einen für sich bestehenden Sternhaufen, eines der großen Weltsysteme, oder eine Weltinsel, zu der auch unsere Sonne mit ihren Planeten gehört.

Der Raum, den diese Fixsternwelt erfüllt, ist nicht kugelförmig, sondern hat, wie alle Wahrnehmungen bestätigen, eine platt linsenförmige Gestalt, die nur einen einzigen größten Kreis hat. Unsere Weltinsel würde also, von einem der entfernteren Sternhaufen aus gesehen, als ein unauflöslicher Nebelfleck erscheinen (5). Unser Sonnensystem steht nicht weit von der Mitte dieses linsenförmigen Sternhaufens entfernt, als dessen Grundebene die Ebene seines größten Kreises zu betrachten ist. Denkt man sich nun die vielen Millionen Fixsterne in diesem Raume und versetzt sich in die Mitte derselben, so wird man, bei einigermaßen gleichförmiger und selbst gruppenweiser Vertheilung der Sterne, weitaus die meisten derselben in der Richtung der Grundebene erblicken, ebenso wie wir in einem Walde die in langen Reihen hinter einander stehenden Bäume gedrängter sehen, als diejenigen, welche wir zur Seite um und neben uns haben; man wird aber die letzten und entferntesten Sterne nur schwer oder gar nicht wahrnehmen, sondern nur ihren vereinigten Schimmer sehen. Dieser Schimmer ist die Milchstraße unserer Fixsternwelt, die sich, wie wir gesehen haben, im Fernrohr in Sterne auflöst. Befindet sich unser Sonnensystem, wie die astronomischen Beobachtungen andeuten, in einer mittleren Region unsers linsenförmigen Fixsternhaufens, z. B. in o (Taf. I, Fig. 13), so müssen wir

offenbar von diesem Standpunct aus in den Richtungen m und m weit mehr derselben im gleichen Flächenraum vertheilt, in Wirklichkeit aber hinter einander erblicken, als in den Richtungen n und n. Um so mehr muß dies aber dann der Fall sein, wenn die Sterne auch noch in der Peripherie angehäuft sind, wie man vermuthet. Vom Standpunct o aus müssen dagegen in den Richtungen n n um so weniger Sterne hinter einander sichtbar werden, je mehr sich die Richtung unsers Blickes dieser Achse nähert, und diese Verminderung muß sich nothwendig ganz vorzugsweise in der Zahl der entfernten und durch ihre Entfernung klein erscheinenden Sterne zeigen, weil eben jenseits der Gegend n n ein verhältnißmäßig sternleerer Raum vorauszusetzen ist, bis dann erst in unermeßlich weiter Ferne eine neue Weltinsel sich befindet. Eine solche Verschiedenheit der Sternanhäufung findet nun, von der Erde aus gesehen, wirklich statt, und wo sie am größten ist, da ist der Rand der Linse, der die Erscheinung der Milchstraße hervorbringt. Daß diese eine Art von Abschluß unsers inselartigen Weltkörpersystems bilde, hinter welcher ein verhältnißmäßig sternenleerer Raum folgt, wird dadurch wahrscheinlich, daß man durch stärkste Vergrößerung die einzelnen Sterne der Milchstraße nicht wieder auf einem leuchtenden, sondern auf schwarzem lichtfreiem Grunde erblickt. Wäre das Sonnensystem bei S, so würde die Milchstraße nicht, wie sie jetzt thut, den Sternhimmel beinahe halbiren, sondern sie würde nach einer Seite des Himmels zusammengedrängt sich darstellen. Noch auffallender würde dies aus irgend einem Standpunct bei m der Fall sein. Wären wir um e i n e n Durchmesser der Milchstraße von ihr entfernt, so müßte sie uns als Scheibe von 60° im Durchmesser erscheinen; in der Entfernung von 100 Durchmessern nur noch 36′ groß, kleiner als der ebenfalls linsenförmige Nebel in der Andromeda, und in einer solchen Entfernung würden wir die Milchstraße auch durch sehr starke Fernröhre nur als unauflösbaren Nebel erblicken.

Die ungeheure Größe unseres Fixsternhaufens läßt sich aus dem schon früher angegebenen Umstande ermessen, daß die vielen Millionen Fixsterne, die ihn bilden, von einander durch Fernen getrennt sind, die selbst für die einander zunächststehenden in Billionen Meilen ausgedrückt werden müssen. Der Polarstern soll eine Parallaxe von 0″,076 haben, wonach er 2,700000 Sonnenweiten oder 57 Billionen Meilen von uns absteht; Sterne in der Gegend der Milchstraße sollen die Entfernung von 61 Cygni um mehr als hundertmal übertreffen, so daß ihr Licht mehr als tausend Jahre gebraucht,

um zu uns zu gelangen. Solche Größen können wir uns schlechterdings nicht versinnlichen. Es verfehlt überhaupt jede Bemühung, eine Größe zu veranschaulichen, welche die auf der Erde zugänglichen weit überschreitet, ihren Zweck; denn sie scheitert entweder an der Größe der Einheit, wodurch sie gemessen werden soll, oder an der Größe der Zahl der Wiederholung der Einheit. Die Entfernung, welche das Licht in einem Jahr durchläuft, ist nicht anschaulicher als die, welche es, wie von 61 Cygni, in neun Jahren durchläuft. Selbst wenn man eine anschauliche Einheit, z. B. die Entfernung von 200 Meilen, welche ein Dampfwagen täglich durchlaufen kann, wählt; so muß man für 61 im Schwan 60000 Millionen, für den Polarstern über 370000 Millionen solcher Tagereisen, oder fast 165 Millionen und über 1013 Millionen Jahresreisen zur Angabe der Entfernung beider Sterne machen, womit uns wiederum wenig geholfen ist.

Es ist schon bemerkt worden, daß der Name „Fixstern" eigentlich nicht mehr auf die Sterne unserer Weltinsel paßt; denn es hat sich gezeigt, daß sie eine eigene, im Weltraum fortschreitende Bewegung haben. Einige Sterne weichen mehr, andere weniger von der einen oder der anderen Seite des großen Sternringes, den wir Milchstraße nennen, ab, je nach der Stelle, die sie einnehmen, und je nach der Richtung und Schnelligkeit ihrer Bewegung. Unsere Sonne ist wahrscheinlich eine von denen, die am weitesten davon abweichen und am weitesten in den sternärmeren Raum innerhalb der Milchstraße eindringen. Hiernach dürfte eine Zeit kommen, wo wir viel tiefer in das Sternendickicht unserer Weltinsel hineingelangen und folglich weit glänzendere Nachthimmel haben werden, als jetzt; doch zahllose Zeitalter werden vergehen, ehe Augen sich öffnen, diese neue Herrlichkeit zu schauen. Veränderungen des Ortes sind bisher etwa bei tausend Fixsternen wahrgenommen worden. Da indeß sichere, genaue Beobachtungen der Fixsternörter kaum ein Jahrhundert alt sind, so darf man annehmen, daß ihre Zahl von Jahrzehent zu Jahrzehent nicht unbeträchtlich wachsen werde, wenn es auch ziemlich gewiß ist, daß die stärkeren dieser Bewegungen nur mit wenigen Ausnahmen schon alle bekannt sind. Etwa 25 Fixsterne haben eine jährliche Fortbewegung von 1 Secunde und darüber; die drei stärksten Bewegungen sind 7, 5 und 4 Secunden jährlich. Bei etwa 80 Sternen ist sie zwischen $^1/_2$ und 1 Secunde, bei den meisten aber nur etwa $^1/_{10}$ und noch darunter. Die stärkeren Bewegungen gehören zwar im Allgemeinen den helleren Sternen an, doch finden sich erhebliche Ausnahmen. Die angeführten drei stärksten kommen

sämmtlich schwächeren, wenn auch dem bloßen Auge noch sichtbaren Sternen zu, während sich andrerseits unter den Sternen zweiter und selbst erster Größe noch einige finden, deren Bewegung, ihrer Kleinheit wegen, bis jetzt noch nicht sicher erkannt ist. Unsere Sonne bewegt sich mit einer relativen Geschwindigkeit, die, nach Bessel, vielleicht 1 Million, auf das mindeste 834080 Meilen täglich, also mehr als die doppelte Umlaufsgeschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne beträgt, oder gleich 9,6 Meilen in der Secunde ist.

Ueber die Natur dieser Bewegungen kann man bis jetzt nur Vermuthungen äußern, denn selbst die stärksten sind noch viel zu gering, um auf Bahnen von einer bestimmten Form aus ihnen schließen zu können. Zugleich ist einleuchtend, daß die von uns wahrgenommenen Ortsveränderungen zwei verschiedene Ursachen haben können: sie können scheinbare, nur durch Veränderung unsers Standortes erzeugte, oder auch wirkliche, den Fixsternen selbst angehörende sein. Zwar ist die Veränderung des Ortes der Erde in ihrem jährlichen Lauf um die Sonne zu gering, um merkliche Aenderungen zu veranlassen und überdies müßten solche die Periode des Erdjahres haben; allein unsere Sonne hat, gemeinschaftlich mit ihrem ganzen System, selbst eine Bewegung, und diese muß sich in den Fixsternen, auch wenn sie selbst in Ruhe wären, abspiegeln. Nach dieser Ansicht untersuchten schon Herschel und Prevost die wenigen Fixsterne, an denen zu ihrer Zeit eine Bewegung wahrgenommen war, und leiteten aus ihnen eine, gegen das Sternbild des Hercules gerichtete Bewegung unserer Sonne her. Diese, von den Zeitgenossen mit großem Mißtrauen aufgenommenen Schlüsse haben sich später glänzend bestätigt. Argelander's und Struve's Untersuchungen haben nahezu denselben Ort, den Herschel bezeichnete, für die Richtung der Sonnenbewegung ergeben, und dies mit einem Grade der Sicherheit, der jeden Zweifel verstummen macht. Eben diese Untersuchungen haben aber auch ergeben, daß die Bewegung unsers Sonnensystems jene Ortsveränderungen der Fixsterne nur zum Theil erklärt, und daß ein anderer Theil ihnen selbst angehören muß, daß also in den wahrgenommenen Veränderungen beide obige Ursachen vereinigt sind. Aber so groß auch diese Eigenbewegung der Sterne ist, so ist sie doch wegen der ungeheuren Entfernungen so unmerklich, daß die Veränderungen in ihrer relativen Lage zu bestimmen nur durch die bewundernswürdige Genauigkeit der jetzigen astronomischen Meßinstrumente möglich geworden ist. In den zweitausend Jahren, die der Arcturus bereits betrachtet wird, hat derselbe seinen Ort nur drittehalb

Vollmondsbreiten gegen die benachbarten schwächeren Sterne verändert, und die Ortsveränderung von μ der Cassiopeja und des Sternes 61 im Schwan ist durch Anhäufung der jährlichen eigenen Bewegung auf $3^1/_2$ und 6 Vollmondsbreiten angewachsen.

Die gesammte Sternbewegung geschieht höchst wahrscheinlich um einen gemeinsamen Zentralpunct, der nach den Einen durch einen überwiegend großen Weltkörper, welcher vielleicht ein dunkler Körper ist, nach Anderen aber bloß durch einen Schwerpunct vertreten werden soll, der aus der gegenseitigen Gravitation aller Weltkörper hervorgeht. Da kein uns sichtbarer oder auf andere Weise erkennbarer Himmelskörper Anspruch auf den Rang eines allgemeinen Zentralkörpers zu haben scheint, so hat man gefragt, ob ein Sternsystem, wie das unsere, ganz ohne Hauptkörper gedacht werden könne. Die Bedingungen des Gleichgewichts fordern es allerdings nicht, nur scheint es, daß in einem solchen System im weiteren Sinne keine eigentlichen Umlaufsbahnen, sondern nur gegenseitige Bewegungen in Folge der gemeinschaftlichen Wirkung sämmtlicher Fixsterne auf einander stattfinden könnten, welche Bewegungen nur in besonderen Fällen Aehnlichkeit mit wirklichen Bahnen haben werden. Mädler in Dorpat hat indeß in neuester Zeit die letztere der beiden oben erwähnten Hypothesen vertheidigt. Nach ihm bildet die massenreiche Gruppe der Plejaden das Gravitations- oder Kraftzentrum; in ihr läge der Schwerpunct, in Beziehung auf welchen die Gesammtanziehungen der Fixsterne unserer Weltinsel im Gleichgewicht stehen. Die Plejadengruppe, von welcher das Licht bis zu uns 500 Jahre gebrauchen soll, wird im Durchmesser zu 600000 Sonnenweiten angenommen. Mädler erkannte bis zum 20° Abstand von Alcyone in den Plejaden unter 172 Sternen keine Bewegung nach Norden, dagegen fand er 60 Bewegungen nach Süden, und erklärte, daß er sich für widerlegt halten würde, sobald in den Regionen, welche Alcyone bis zu 20° oder 25° Abstand umgeben, ein einziger Stern gefunden werde, der eine nur etwas merkliche Bewegung nach Norden zeige. Alcyone ist Mädler nicht der Zentralkörper, der durch die Ueberwucht seiner Masse alle anderen Sterne unserer Weltinsel beherrschte, sondern der Stern, in welchen er den Schwerpunct unsers ganzen Fixsternsystems setzt. Der Mangel einer überwiegenden Masse im Zentrum bewirkt aber, daß die Anziehungen mit der Entfernung vom Zentralpuncte wachsen, also in der Nähe des Zentrums geringer sind, als gegen den äußeren Rand der Sternenlinse hin. Auch diese Bedingungen fand Mädler

erfüllt, so gut es unter den gegebenen Umständen überhaupt möglich ist. Für die Umlaufszeit unserer Sonne um Alcyone fand Mädler in einer ersten Näherungsrechnung 18 Millionen 200000 Jahre, bemerkt jedoch, daß seine Rechnungen nur erste, rohe Näherungswerthe seien, um eine Vorstellung von der ungeheuer großen Bahn unserer Sonne zu verschaffen.

Unser Fixsternsystem ist sehr vielgliederig. Die meisten uns wahrnehmbaren Fixsterne sind, wie unsere Sonne, einfache Sterne, wie viele Doppelsterne es auch immerhin geben möge, die wir noch nicht als solche erkannt haben. Die Verbindungen der Doppelsterne sind die einfachsten, welche das Fixsternheer darbietet, die untersten Glieder in der Kette von Systemen, welche wir hier zu vermuthen haben. Wahrscheinlich gruppiren sich um die einfachen Sonnen, wie um die Doppelsterne, auch dunkle Körper, beispielsweise Planeten. In anderen Verbindungen scheinen dunkle Körper, freilich nicht solche, wie sie sich um unsere Sonne bewegen, sondern Körper einer weit höheren Ordnung, Sonnen zu Trabanten zu haben, wie Bessel aus den Bewegungen zweier der hellsten Fixsterne, des Sirius und Procyon, schloß. Die Doppelsternpaare stehen ferner an mehreren Orten des Himmels auffallend dicht gedrängt und von einfachen Sternen so nahe umgeben, daß man sie selbst als Glieder eines höheren Systems ansieht, wie denn bei zwei Paaren in der Leier die Beobachtungen eine gemeinschaftliche eigene Bewegung dargethan haben, was ihr physisches Zusammengehören wahrscheinlich macht. Eine andere Art höheres Partialsystem ist in den größeren Gruppen von Sternen gegeben. Bei den Plejaden, den Hyaden, der glänzenden Oriongruppe ist die Annahme eines physischen Verbandes außer Zweifel, und es dürften sich noch mehrere solcher Gruppen von dem scheinbaren Gewirre ablösen und sich als Systeme darstellen. Einzelne dieser Gruppen mögen Hunderte von Sternen in sich begreifen. Doch zerfällt die ganze Fixsternwelt nicht in lauter solche Gruppen; denn viele, sehr viele Sterne stehen so vereinsamt am Himmel, und verrathen weder in ihren eigenen Bewegungen, noch auch sonst auf andere Weise irgend eine Beziehung zu anderen, daß man annehmen muß, sie seien, mit Ausnahme der allgemeinen Verbindung der gesammten Fixsternwelt, in keine andere eingegangen. So würden also isolirte Sonnen, Doppel- und mehrfache Sterne, kleinere und größere Partialgruppen, die mit Ausnahme der einfachen Sterne ihre eigenen Bewegungen, gemeinschaftlich aber die Bewegung um ein Kraftzentrum haben, die Bestandtheile bilden, aus denen unsere Weltinsel besteht: ein ungeheures

Ganze, das aber dennoch, weit entfernt, für sich allein das Universum auszumachen, wieder nur der einzelne Theil, das einzelne Glied einer noch höheren Ordnung zu sein scheint.

Sternbilder.

11. Schon sehr früh wurden die scheinbar, wie durch Zufall, vermengten großen und kleinen Sterne in gewisse Gruppen gesondert, in welchen helle Sterne durch ihre Nähe zu einander oder durch ihre gegenseitige Stellung den Blick auf sich ziehen. Diese Gruppen benannte man theils nach ihrer Aehnlichkeit mit Thieren und Instrumenten, theils nach Gottheiten und Heroen der Vorzeit. Die Alten wählten nur die am meisten sich hervorhebenden Gruppen zu ihren Sternbildern, und so blieben, besonders in den südlichen Himmelsgegenden welche sie weniger gut beobachten konnten, noch manche Räume leer, welche die Neueren nach und nach ausgefüllt und benannt haben, so daß gegenwärtig kein neues Sternbild mehr eingeführt werden kann, ohne einem anderen bereits bestehenden eine gewisse Region zu nehmen. (Zur Veranschaulichung der gegenseitigen Stellung der Sternbilder dient die Sternkarte Taf. II.)

Die Zahl sämmtlicher Sternbilder beträgt 109. Die bei uns sichtbaren theilen sich in die nördlichen, in die Sternbilder des Thierkreises (Himmelszeichen), und in die südlichen. Die nördlichen können nach 4 Regionen geordnet werden, welche die Gebiete des großen Bären, des Cepheus und der Cassiopeja, der Leier und des Hercules umfassen.

Zum Gebiet des großen Bären gehören:

1) der große Bär selbst, das bekannteste unter den Sternbildern. Es dient dazu, den Polarstern aufzufinden (1), und ist in jeder heiteren Nacht und zwar während der ganzen Dauer derselben zu jeder Jahreszeit sichtbar, da es zu den nördlichen Circumpolarsternen gehört. Es besteht aus 7 hellleuchtenden, zur zweiten Größe gehörenden Sternen, mit Ausnahme eines derselben. Vier dieser Sterne bilden ein regelmäßiges Viereck, und diesem schließen in krummer Linie die drei übrigen Sterne des Schweifes sich an. Von den letzteren ist der mittlere, Mizar, ein physischer Doppelstern, und sein kleiner Nebenstern, Alcor oder Reiterlein, bildet mit ihm einen

optischen Doppelstern. Im gemeinen Leben werden die vier Sterne auch der Wagen und die übrigen drei die Deichsel desselben genannt, wo dann Alcor für den Fuhrmann gilt. Die Alten nannten das Gestirn die 7 Ochsen (septemtriones). Es gehören übrigens zu ihm noch eine Menge Sterne viel schwächeren Lichtes. Oberhalb des unteren rechten der vier Sterne (Merek) befindet sich ein merkwürdiger Nebelfleck, hell und rund, der in einiger Entfernung von einem Hofe umgeben und von einem anderen Nebel begleitet ist.

2) Der kleine Bär oder Wagen, in welchem der Polarstern ist. Seine Gestalt ist der des großen Bären ähnlich, aber er ist kleiner, und unter seinen 7 Hauptsternen ist nur der Polarstern zweiter Größe. Weil Bär im Griechischen „Arktos" heißt, so wird der Nordpol der arktische, der entgegengesetzte Südpol der antarktische genannt.

3) Der Camelopard ist ein ausgedehntes Sternbild, dessen Kopf neben dem Pole vorbei bis zum Rücken des kleinen Bären reicht. Seine Sterne sind aber sehr zerstreut.

4) Bootes. Denkt man sich die Bogenlinie der Deichsel des großen Wagens bis zum Aequator verlängert, so trifft man auf den prachtvollsten Stern erster Größe, der auf der ganzen nördlichen Himmelshalbkugel zu finden ist, auf den in röthlichem Lichte funkelnden Arcturus im Bootes. Das Sternbild enthält, außer einigen 20 kleineren, 6 Sterne dritter und einen erster Größe. In der Nähe des Arcturus findet sich eine kugelförmige, teleskopische Sterngruppe.

5) Das Haupthaar der Berenice, der Gemahlin des ägyptischen Königs Ptolemäus Euergetes. Eine gerade Linie durch den oberen und unteren linken Stern im Viereck des großen Bären trifft östlich von Arcturus dieses Sternbild. Es besteht zwar nur aus Sternen vierter und geringerer Größe, aber sie sind so zahlreich und dicht gedrängt, daß sie auch schon in schwachen Fernröhren einen interessanten Anblick gewähren.

6) Durch die Deichsel des kleinen Wagens über den Polarstern hinaus, rechts vom großen Bären, finden wir das schöne Sternbild des Fuhrmanns. Von seinen Hauptsternen ist Capella einer der glänzendsten erster Größe. Die Figur trägt nämlich eine Ziege (capella), in deren Brust die Capella steht. Man erkennt sie leicht an drei kleinen Sternen, die ein spitzes, gleichschenkeliges Dreieck bilden.

Zum Gebiete des Cepheus und der Cassiopeja gehören:

1) die Cassiopeja, welche aus 5 hellleuchtenden Sternen fast zweiter Größe besteht, die den Zug eines langgestreckten lateinischen W bilden, und zu den Circumpolarsternen gehören. An der Sessellehne der Cassiopeja ereignete sich die schon früher (7) erwähnte Erscheinung eines neuen Sternes, auf welchen der dänische Astronom Tycho de Brahe zuerst aufmerksam ward. Der Stern ψ ist ein dreifacher Doppelstern. Zwischen der Cassiopeja in der Milchstraße und dem kleinen Bären ist

2) Cepheus, der Cassiopeja Gemahl, der mit den Beinen auf der Deichsel des kleinen Bären steht und mit Krone und Scepter in die Milchstraße hineinragt. Das Sternbild ist an größeren Sternen nicht reich. Vom Polarstern über die Cassiopeja treffen wir deren Tochter

3) Andromeda, leicht kenntlich durch drei in einem Bogen stehende Sterne zweiter Größe. Als Haarschmuck trägt sie den Stern Sirrah, der zugleich dem Pegasus gehört. In der Andromeda befindet sich ein Kernnebel, der zu dem Zuge gehört, welcher durch Berenice, den großen Bären, den nördlichen Fisch bis zum Kopf des Centaurs geht. Bei ω des Centaur erscheint der Nebel dem bloßen Auge wie ein kometenartiger, runder Flecken, fast leuchtend wie ein Stern vierter oder fünfter Größe, in mächtigen Fernröhren aber aus zahllosen Sternchen dreizehnter und fünfzehnter Größe zusammengesetzt. Solche auflösliche Gebilde gewähren im Fernrohr einen unbeschreiblich prachtvollen Anblick.

4) Der Pegasus bildet ein großes Viereck, zwischen welchem und dem Polarstern Cassiopeja steht. Zwischen Camelopard, Cassiopeja und Andromeda steht

5) Perseus, der die angekettete Andromeda von dem Seedrachen befreit. Das Sternbild ist kenntlich durch die drei hellen Sterne, die in einer etwas gekrümmten Linie mitten in der Milchstraße stehen, und durch den hellen Schimmer, den die glänzenden Sternhaufen in dieser Gegend der Milchstraße verleihen. Von den drei Sternen ist der mittlere zweiter Größe, von den übrigen, die meist in der Milchstraße liegen, steht einer auf der Spitze von Perseus Schwert. In dem Griffe des Schwertes befindet sich ein schon dem unbewaffneten Auge erkennbarer großer Sternhaufen, in welchem zwei Sterne siebenter Größe sind und einer derselben im Umfang einer Ellipse von Sternen steht. Nicht weit von diesem Sternhaufen ist ein anderer, in welchem sich gegen die Mitte hin mehr Verdichtung zeigt, als bei dem

ersteren; den Mittelpunct bildet ein schöner röthlicher Stern, der wie die Zentralsonne dieses Fixsternsystems erscheint. Nahe südlich vom Pegasus steht

6) das Medusenhaupt außerhalb der Milchstraße, dessen Hauptstern, Algol, auch zum Perseus gehört. Algol ist ein Stern zweiter Größe, verändert sich aber in $2^4/_5$ Jahren so, daß sein Glanz zwischen die dritte und vierte Größe fällt.

Im Gebiete der Leier sind:

1) die Leier, der Capella in Bezug auf den Pol ungefähr gegenüber, und etwa so weit vom Polarstern entfernt, als jene. Sie hat in der Spitze eines verschobenen Dreiecks einen Stern erster Größe, Wega, durch welchen das Sternbild hinlänglich ausgezeichnet ist. Die Wega hat eine Parallaxe von 0",2613, ist also nahezu so weit von uns entfernt als Sirius. Der Stern β der Leier besteht aus zwei Paaren von Doppelsternen. In diesem Sternbilde befindet sich auch ein Ringnebel.

2) Der Schwan, ein großes, leicht kenntliches Sternbild zwischen Leier und Pegasus. Die 5 Hauptsterne desselben bilden ein großes Kreuz, in dessen Spitze ein sehr heller Stern zweiter Größe steht, den die Araber Deneb nannten. Ein Stern im Schwan ist ein doppelter Doppelstern. Im Jahr 1600 erschien in diesem Sternbild ein neuer Stern dritter Größe, der seit 1619 an Helligkeit abnahm und 1621 verschwand. Dominic Cassini sah ihn 1655 wieder zur dritten Größe gelangen und dann verschwinden; Hevel beobachtete ihn wieder im November 1665, ohne daß er die dritte Größe erreichte; zwischen 1677 und 1682 war er nur noch sechster Größe und so blieb er am Himmel. Vor allen aber ist der kleine Stern 61 merkwürdig geworden; denn da er die größte eigene Bewegung gegen den Himmelsraum zeigt, nämlich 5",1 (also in 1000 Jahren fast 3 Monddurchmesser); so wurde daraus auf seine vorzügliche Nähe geschlossen, und die Hoffnung geschöpft, seine Parallaxe finden zu können. Dies ist denn auch, wie wir gesehen haben, durch Bessel geschehen. Da nun dieser Stern eine weit geringere Lichtstärke besitzt, als Wega, und uns dennoch um mehrere Millionen näher ist, als diese, so ergibt sich daraus die Trüglichkeit des Schlusses von der Größe der Fixsterne auf ihre Entfernung. 61 Cygni ist ein Doppelstern, dessen Umlaufszeit etwa 500 Jahre betragen mag, bei einem mittleren Abstande von $16^1/_2$ Secunden scheinbarer oder 48 Sonnenweiten wirklicher Distanz. Daraus hat Mädler die Masse des Doppelsterns genähert abgeleitet, und sie etwa $^2/_5$, höchstens $^1/_2$ der Sonnenmasse gefunden,

welche Masse man auf zwei nicht sehr verschieden glänzende Sterne vertheilen muß — die erste Fixsternmasse, welche man nicht mehr als ganz unbekannt zu betrachten hat. — Unter Wega und Deneb, nach dem Aequator zu, finden wir

3) den Adler, eines der kenntlichsten Gestirne in der Milchstraße. Es besteht aus drei hellen, in gerader Linie in gleichem Abstande von einander entfernten Sternen, von denen der mittlere, Atair, ein Stern erster Größe ist, den Ptolemäus, der Alexandriner, noch zu den Sternen zweiter Größe rechnet. Hinter dem Adler steht

4) der Delphin, ein kleines, aus 4 Sternen bestehendes Sternbild, welche ein verschobenes Viereck bilden; ein fünfter steht etwas mehr nach dem Aequator zu.

Das Gebiet des Hercules enthält:

1) den Hercules, zwischen Leier und Adler auf der einen und Bootes auf der anderen Seite. Einer der Sterne ist veränderlich, keiner von besonderer Größe und die Hauptsterne lassen sich nicht füglich in eine regelmäßige Figur bringen. Das ganze Bild ist wichtig für uns, weil es die Gegend bezeichnet, nach welcher unser Sonnensystem sich hinzubewegen scheint. Zwischen η und ξ des Hercules sind Sterngruppen, die in hellen Nächten schon dem bloßen Auge sichtbar sind, im Fernrohr aber mit ihrem sonderbar strahlförmig auslaufenden Rande einen prachtvollen Gegenstand bilden. Ein Nebelfleck in diesem Sternbilde zeigt bei der Auflösung 6—10000 im Fernrohr gleichzeitig sichtbare Sterne, deren Gedränge in der Mitte so dicht wird, daß zuletzt Alles in einen Lichtball zusammenfließt. Einzelne Sterne heben sich so weit hervor, daß sie allenfalls eine Messung gestatten. — Von den zwei hellsten Sternen des Hercules steht der südlichste im Kopfe des

2) Schlangenträgers (Ophiuchos), eines weit ausgedehnten Sternbildes. Von seiner großen Sternenzahl sind nur 2 zweiter Größe, und von den Hauptsternen gilt, was von denen des Hercules noch in höherem Grade. Das Sternbild hat einen Doppelstern, dessen Umlaufszeit 80 Jahre beträgt, und an welchem man schon die Bedeckung des einen Sterns durch den anderen beobachtet hat. — Gleich links von dem geschobenen Viereck des Bootes, zwischen ihm und dem Hercules steht

3) die nördliche Krone, deren Gestalt durch den Edelstein (gemma coronae borealis), einen Stern zweiter Größe, und einen Kranz von

5 kleineren Sternen deutlich bezeichnet ist. Zwei dieser Sterne gehören zu den Doppelsternen, deren Umlaufszeit bekannt ist (9); sie beträgt 23 und 200 Jahre. — Zwischen dem großen und dem kleinen Bären zeigt sich die lang geschlungene Linie des

4) Drachen, kenntlich an einer Reihe schwacher Sterne, von denen 2 dicht zusammenstehende, mit 2 schwächeren ein verschobenes Viereck bildend, den Kopf des Drachen ausmachen.

Es folgen nun die Sternbilder des Thierkreises. Dieser ist eine etwa 20 Grade breite Zone, welche die ganze Himmelskugel zu beiden Seiten der Ekliptik umgibt. Die Namen der 12 Sternbilder oder Himmelszeichen, welche dahin gehören, rühren aus grauem Alterthum her.

1) Der Widder (♈), zunächst südlich vom Fuße der Andromeda, besteht aus drei Sternen dritter und vierter Größe, und ist etwa 20° nördlich vom Aequator. Nach diesem Sternbilde wird noch immer der Frühlingspunct genannt, d. i. derjenige Ort am Himmel, in welchem zur Zeit der Frühlings-Nachtgleiche die Sonne, von der Erde aus (geocentrisch) gesehen, zu stehen scheint, ungeachtet er sich schon 30° von ihm entfernt hat. Hinter dem Widder und südlich von der Capella ist

2) der Stier (♉). Die Hauptsterne befinden sich im Kopfe des Sternbildes, wo ein röthlicher Stern erster Größe, Aldebaran, mit 2 Sternen dritter Größe und einer Menge hell flimmernder kleinerer die deutliche Figur eines römischen V bilden, die mit dem besondern Namen der Hyaden (Regensterne) bezeichnet wird, weil im October, wo sie bald nach Sonnenuntergang aufgehen, die Regenzeit in Griechenland zu beginnen pflegt. Im Rücken des Stiers sind die Plejaden, das Siebengestirn, dessen 7 Sterne so klein sind, daß das unbewaffnete Auge nur mit Mühe noch 5 derselben unterscheidet. Aber der ganze Fleck hat einen ausgezeichneten Schimmer und mit Hülfe eines Fernrohrs bemerkt man ein interessantes Gewimmel von Sternen, in welchem man schon bei mäßiger Vergrößerung über 30 Sterne zu unterscheiden vermag. Unter allen diesen Sternen ist der hellste Alcyone, von welchem Mädler glaubt, daß er ungefähr den Gravitationsmittelpunct unseres ganzen Sternsystems bezeichne (10). Befände er sich in einem Körper, so müßte er einer der dunkeln Weltkörper sein, deren Vorhandensein in der Classe der Fixsterne Bessel annimmt. Was übrigens den Sternhaufen der Plejaden betrifft, so ist die physische Verbindung derselben zu einem Sternsystem nachgewiesen. Weil die

Plejaden für den Süden Europas in der ersten Hälfte des Mai auf- und im November untergehen, also nur während der Schifffahrtszeit der alten Völker am Himmel stehen, waren sie für die Griechen das Schiffergestirn (ἀπὸ τοῦ πλεῖν).

3) Die Zwillinge (♊). Die 6 Hauptsterne bilden in zwei Reihen drei Paare, von denen das letzte links zwei leuchtende Sterne zweiter Größe enthält. Es sind die Dioskuren: Kastor und Pollux. Jener ist ein Doppelstern, dessen Umlaufszeit auf 215 Jahre berechnet ist.

4) Der Krebs (♋) folgt den Zwillingen von Osten her und besteht aus kleinen Sternen vierter und geringerer Größe, würde daher schwer aufzufinden sein, wenn nicht seine Stellung zwischen zwei sehr kenntlichen Sternen und der helle Schimmer, den ein dem unbewaffneten Auge erkennbarer Sternhaufen in demselben verbreitet, zu Hülfe kämen. Unter dem großen Bären steht

5) der Löwe (♌), die Zeit der mächtigsten Hitze bezeichnend. Er kennzeichnet sich deutlich durch 3 Sterne, die in Form eines großen rechtwinkligen Dreiecks zusammenstehen, dessen kurze Kathete in der Ekliptik mit einem Stern erster Größe endigt, welcher Regulus, auch Herz des Löwen genannt wird. Die beiden andern Sterne sind dritter Größe, doch ward Denebola früher als ein Stern erster Größe gesehen. In der Nähe dieser beiden Sterne sind noch 5 dritter und einige vierter Größe. Der dritte der großen Hauptsterne hat eine besondere Merkwürdigkeit. In den Sternschnuppennächten des 12. und 13. November, wo im Jahr 1834 und 1837 sich ganze Schwärme zeigten, und 1833 innerhalb 9 Stunden wenigstens 260000 Sternschnuppen beobachtet wurden, bemerkte man, daß sie alle aus der Gegend γ des Löwen zu kommen schienen, indem sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 9 Meilen in der Secunde bewegten.

6) Die Jungfrau (♍), etwas südwestlich vom Arcturus. Fünf ihrer Sterne bilden ein lateinisches L, in dessen Mitte die Ekliptik den Aequator durchschneidet. Südöstlich von diesen Sternen liegt in der Ekliptik Spica (Kornähre), ein Stern erster Größe; alle übrigen gehen nicht über die dritte Größe hinaus. Einer derselben ist ein Doppelstern, dessen Umlaufszeit zu 513 Jahren berechnet ist. — In der Nähe der Jungfrau befindet sich eine Hauptgruppe von Nebelflecken, gegen 35 an

der Zahl. Die meisten zeigen nach der Mitte zu eine Verdichtung, oft eine sternförmige; nur wenige sind auflöslich, auch finden sich hier mehrere Doppelnebel. Eine ansehnliche Fülle solcher Nebel gibt es außerdem am Nordpol der Milchstraße und bei den Fischen am südlichen Pol; aber eine Zone, welche diese Nebelflecke mit einander verbände und durch Nebelflecke bezeichnet würde, eine sogenannte Milchstraße von Nebelflecken, wie man früher angenommen hat, ist durch neuere Beobachtungen nicht bestätigt worden.

7) Die Waage (♎), das erste der Thierkreisbilder, welche südlich vom Aequator liegen. Es steht südlich vom Arcturus und der nördlichen Krone. Von seinen beiden Hauptsternen zweiter Größe steht einer in jeder Waagschaale und der südlichste in der Ekliptik; die übrigen sind von vierter und geringerer Größe. Vor 2000 Jahren stand die Sonne während des Herbstäquinoctiums in diesem Zeichen, das von der Gleichheit der Tage und Nächte seinen Namen hat. Jetzt vertritt seine Stelle die Jungfrau.

8) Der Scorpion (♏), am besten zu sehen in der Morgenstunde Mitte Januars, steht über dem Schlangenträger. In seinem Leibe sitzt Antares, ein leuchtender Stern erster Größe; ein Stern zweiter Größe befindet sich in seinem Kopfe, von dem sich zu beiden Seiten ein fächerartiger Bogen von 4 kleineren Sternen hinzieht. In diesem Sternbilde befindet sich eine der großen ganz sternleeren Regionen, welche Herschel I. Oeffnungen im Himmel genannt hat, und in der Nähe derselben, ganz nahe am Rande, sind unauflösliche Nebelflecke, welche zu den reichsten und zusammengedrängtesten Haufen kleiner Sterne gehören, die den Himmel zieren. Hinsichtlich der „Oeffnungen am Himmel" äußert A. v. Humboldt die Ansicht, daß in solchen Regionen die hinter einander liegenden Sternschichten dünner oder gar unterbrochen seien, daß unsere optischen Instrumente die letzten Schichten nicht erreichen, daß wir also wie durch Röhren in den fernsten Weltraum blicken.

9) Der Schütze (♐) steht südwestlich unter dem Adler als das südlichste Bild des Thierkreises. Es enthält einen Stern zweiter Größe und noch 6 Sterne dritter Größe.

10) Der Steinbock (♑) steht unter dem Adler und ist kenntlich an 3 dicht zusammenstehenden Hauptsternen dritter Größe, welche in der Stirn und den Hörnerwurzeln des Thieres stehen.

11) Der Wassermann (♒) hat nur schwach schimmernde Sterne, welche auf einem weiten Raume vertheilt sind. Die 5 Hauptsterne dritter Größe bilden eine unregelmäßige Figur. Das Sternbild steht südlich unter der Mitte zwischen dem Viereck des Pegasus und dem Delphin. Unter Pegasus und Andromeda endlich stehen

12) die Fische (♓), schwer zu erkennen theils wegen der Kleinheit der Sterne, theils weil diese über einen großen Flächenraum vertheilt sind. In diesem Sternbilde ist der andere Durchschnitt des Aequators und der Ekliptik.

Zu obigen Sternbildern kommen noch 5 südliche:

1) Der Walfisch, südlich von der Andromeda. Mit 2 Hauptsternen zweiter Größe bilden 2 dritter Größe ein flaches Dreieck mit einer verlängerten Seite, in welcher der merkwürdigste der veränderlichen Sterne, Mira, sich befindet. Sein Licht ist stark röthlich und kommt, wenn es am schwächsten ist, seinem schwachen Begleiter, der nahe die elfte Größe hat, an Glanze gleich.

2) Der Orion, unter dem Stier und den Zwillingen, eines der glänzendsten Gestirne am Himmel. Es besteht aus 7 Hauptsternen, von denen 2 erster Größe sind. Beteigeuze in der rechten Schulter, Rigel am hoch aufgehobenen linken Fuß des Jägers; 4 Sterne sind zweiter Größe, nämlich Bellatrix in der linken Schulter, und die 3 in einer Linie stehenden des Gürtels, welche auch der Jacobsstab oder die drei Könige heißen. Die übrigen Sterne sind dritter und vierter Größe. Vier Grade unter den Sternen δ, ε, ξ des Jacobsstabes ist einer der merkwürdigsten Nebel, von außerordentlicher Größe und sich durch unbestimmte Umrisse und verwaschene Ränder auszeichnend. Zuerst von Huygens (1659) beschrieben, haben sich fast alle Astronomen seit jener Zeit, und zuletzt der jüngere Herschel vorzugsweise mit ihm beschäftigt. Man hat seine Gestalt mit einem geöffneten Thierrachen verglichen, von dessen oberer Kinnlade ein langes, vorwärts gestrecktes und aufrecht gebogenes Horn sich erhebt. Das Licht wechselt in ihm von anscheinend lodernden Flammen bis zu völliger Schwärze, und helles und dunkles Licht sind scharf getrennt. Die in ihm stehenden Fixsterne glänzen besonders lebhaft. In dem aus 4 Sternen gebildeten Trapez (am Mundwinkel) hat Struve einen fünften, vermuthlich neu entstandenen Stern entdeckt, der eine auffallend schnelle Bewegung zu haben und vielleicht ein Begleiter des Sterns 7 zu sein scheint, um den er ver-

muthlich in weniger als 40 Jahren läuft. Später entdeckte Herschel in diesem Trapez einen sechsten noch dreimal so lichtschwachen Stern, als der von Struve ist, und einen siebenten Stern endlich hat Schwabe in demselben Trapez entdeckt. Im Jahr 1800 sah Schröter in diesem Nebel eine große helle, vorher nie bemerkte Lichtkugel, die nach wenigen Tagen wieder verschwand; ein andermal einen ebenfalls vergänglichen, pyramidalischen Lichtwechsel. Dieser merkwürdige Nebel, der schon dem scharfen Auge erkennbar ist, hat, wie einige andere seiner Art, zu der Meinung von der Existenz kosmischen Gewölkes und selbstleuchtender Nebel Anlaß gegeben. Nicht zwei dieser unsymmetrischen Nebelmassen gleichen einander, aber was, nach dem jüngeren Herschel, in allen erkannt wird, und was ihnen einen ganz eigenthümlichen Charakter gibt, ist, daß alle in oder sehr nahe den Rändern der Milchstraße liegen, ja als Ausläufer von ihr betrachtet werden. Der Orion hat ferner einen aus drei Sternen bestehenden Doppelstern und der Stern ϑ ist vierfach, der Stern σ besteht sogar aus 16 Sternen. — Durch den oberen Stern im Gürtel des Orion geht der Aequator.

3) Der kleine Hund unter den Zwillingen, neben der Milchstraße. Er besteht aus 2 Hauptsternen, von denen der obere im Ohre des Hundes dritter Größe, der untere Procyon, erster Größe ist. Zwischen dem kleinen Hund und dem Orion, diesem näher, steht

4) der große Hund, in dessen Maule sich der Sirius befindet, den man mit Recht den Diamant erster Größe an unserem Himmel nennt, denn er ist der glänzendste aller Fixsterne, weshalb man auch früher die Zentralsonne unseres Fixsternsystems in ihm erblicken wollte. Von den übrigen vier Sternen ist einer veränderlich. Bessel, welcher sich längere Zeit mit den Eigenbewegungen des Sirius und Procyon beschäftigt hatte, erkannte beide Sterne als zu zwei großen Systemen gehörig, in welchen sie selbst aber nicht Zentralkörper sein können. Der Sirius beschreibt mit 49jähriger Umlaufszeit eine kleine Ellipse am Himmel, ganz nach Art der sichtbaren Doppelsterne, und Bessel ist der Ansicht, daß sein physischer Begleiter, weil er nicht leuchtet, ein dunkler Weltkörper von der Größe und Massenhaftigkeit der Fixsterne sein müsse.

5) Der südliche Fisch, der sich durch einen hellen Stern erster Größe, den Fomahant, auszeichnet, den einzigen der Art in dieser Gegend. Die übrigen 3 Sterne sind dritter Größe.

Ueber die Pracht des uns unsichtbaren Theils des südlichen Himmels spricht sich John Herschel folgendermaßen aus: „Der allgemeine Anblick des südlichen Firmaments in der Nähe des Pols ist über allen Ausdruck reich und prächtig wegen des größeren Glanzes und der breiteren Entwickelung der Milchstraße, welche von dem Sternbilde des Orion ein glänzender Lichtstreifen ist. Doch ist dieser Streifen seltsam durchbrochen von leeren, sternlosen Flecken, vorzüglich im Scorpion, nächst α Centauri und am Kreuz. Gegen Norden hin verbleicht die Milchstraße dünner und blässer, und ist im Verhältniß nur schwer zu sehen. Unmöglich ist es, diesen herrlichen Gürtel, mit seinem wunderbar reichen Wimperkranze von Sternen dritter und vierter Ordnung, der am südlichen Rande wie ein ungeheurer Vorhang sich hinerstreckt, zu beobachten, ohne auf die Vermuthung zu kommen, daß die Milchstraße nicht eine bloße Schicht, sondern ein Ring ist; oder wenigstens, daß unser System innerhalb eines der ärmeren, sternlosen Theile derselben, und zwar excentrisch liegt, so daß es den Theilen um das Kreuz viel näher ist, als denen in entgegengesetzter Richtung. Die zwei Magellan's Wolken, Nubecula major und minor, sind außerordentlich merkwürdig. Die größere ist eine Anhäufung von Sternen, von runden und unregelmäßigen Sternhaufen, und von Nebelflecken verschiedener Ausdehnung und Dichtigkeit, und zwischen diesen allen ziehen sich große Massen unauflöslicher Nebel, welche vielleicht Sternstaub (kosmische Materie) sein mögen. Diese Massen zeigt das 25füßige Teleskop nur als eine allgemeine Erleuchtung des Gesichtsfeldes, das somit ein hellerer Hintergrund für die darüber zerstreuten Gegenstände wird. Einige Objecte in diesem Lichtnebel sind von den seltsamsten und schwerbegreiflichsten Formen; so einer, welcher aus einer Anzahl Schnüren besteht, die in einem undeutlichen Knoten verschlungen sind, etwa einem Bündel Bänder vergleichbar, die in eine Rosette von Schleifen geordnet sind. Kein Theil des Himmels ist bei so geringer Ausdehnung so voll von Nebelflecken und Sternhaufen als diese „Wolke." Die Nubecula minor ist ein minder seltsamer Gegenstand. In ihr herrscht mehr ein nicht in Sterngebilde auflöslicher Lichtnebel, und die Flecken und Wolken sind blasser und seltener, obgleich unmittelbar daneben einer der reichsten und prächtigsten Sternhaufen steht. Die bei weitem merkwürdigsten Gegenstände dieser Hemisphäre stellen jedoch die großen Sternnebel im Orion und in η Argus dar. Die planetarischen Nebel sind, im Verhältniß dieser Art von Gegenständen, in der südlichen Hemisphäre zahlreich und sehr

charakteristisch; die Scheiben vieler so scharf begrenzt, als die der Planeten und von gleichmäßigem Lichte." — In einem Briefe an Struve sagt Herschel unter Anderem: „Vom Sirius bis α des Centaurs ist gleichsam eine Flamme glänzender Gegenstände, und von dort bis zu α des Adlers bietet die Milchstraße selbst dem unbewaffneten Auge ein außerordentliches Schauspiel dar. Sie ist hier nicht etwa ein einziger, fast einförmiger, breiter Lichtstreifen, sondern in unregelmäßigen Massen, gleich ungeheuren dicht zusammengedrängten Nebelflecken gebrochen, und in den Theilen, die minder dicht sind, seltsam geziert mit dunkeln, schattenähnlichen Streifen, die ganz das Aussehen schwarzer Wolkenschichten haben. Durchs Fernrohr erscheint sie überfüllt mit Sterngruppen von der mannigfachsten Schönheit; überhaupt aber sind die kugelförmigen Haufen in dieser Halbkugel viel üppiger, größer und zahlreicher als in der nördlichen. Die große Magellan'sche Wolke allein enthält im engen Raume einiger Quadratgrade so viele und mannigfache Gegenstände, daß man sie fast einen Auszug des ganzen Sternenhimmels nennen kann." (Nach Bromme.)

Die Configuration der Sternbilder wird nicht immer dieselbe bleiben. Wir haben schon gesehen, daß sich am ganzen Himmel kein fester Punct befindet, und da bei manchen beobachteten Sternen die Ortsveränderung in 2000 Jahren auf 2, 3 und 6 Vollmondsbreiten angewachsen ist, da die gemessenen eigenen Bewegungen der Fixsterne unter einander von $^1/_{20}$ bis 7,7 Secunden steigen, so folgt, daß weder der relative Abstand der Fixsterne unter einander, noch die Configuration der Sternbilder in langen Perioden dieselben bleiben können. Aber wie viele Jahrtausende bis zur völligen Auflösung der jetzigen Sternbilder verfließen werden, ist nicht zu berechnen. Die Fixsterne müssen gewaltig große Wege zurücklegen, bis der „landschaftliche Eindruck des gestirnten Himmels" sich ändert, und bedürfen dazu, wenn auch ein jeder seines eigenen Weges ginge, doch Tausende von Jahren. Die Ursache davon liegt in ihren ungeheuren Entfernungen von uns. Ein schwaches Bild gibt uns ein Schiff, das am fernen Horizonte schnell dahinsegelt; flüchtiger Beobachtung scheint es unbewegt, und es bedarf geraumer Zeit, bis wir eine Bewegung wahrnehmen, und doch wie verschwindend klein ist seine Entfernung — freilich auch die Schnelligkeit seiner Bewegung — im Vergleich mit der irgend eines Fixsterns!

Von den langsam und ungleich in Lichtstärke und Position sich ändernden Fixsternen verschieden verändern im Thierkreise ihren schnelleren Lauf die unsere

Sonne umkreisenden Planeten. Bei längerer Beobachtung bemerkt man schon mit bloßem Auge, daß sie ihren Ort verändern, und im Felde eines mächtigen Fernrohrs vergrößert erblickt man sie als Scheiben von merklichem Durchmesser, während die Fixsterne als bloße Puncte erscheinen. Von den Planeten machen sich besonders 4 bemerklich: Jupiter, stärker als Fixsterne erster Größe und mit ruhigem, gelbem Lichte leuchtend; Mars, kleiner als Jupiter, und mit rothem Lichte; noch kleiner als Mars, aber doch noch als Stern erster Größe erscheint Saturn in matt-röthlichem Lichte; Venus endlich zeigt sich in der Abend- und Morgendämmerung als Abend- und Morgenstern in glänzend weißem Lichte.

Es ist bemerkt worden, daß man bei einem Doppelstern im Sternbild des Schlangenträgers die Bedeckung des einen Fixsterns durch den anderen beobachtet hat. Weil der Mond uns näher als andere Gestirne steht, so bewirkt er vorzüglich Bedeckungen der Fixsterne und Planeten. Alle Gestirne, die von der Ekliptik weniger als 5° entfernt sind, können vom Monde bedeckt werden. Am häufigsten findet dieser Vorgang bei den Fixsternen statt, aber mehr für das bewaffnete Auge, da der in Bezug auf das Licht der Fixsterne zu starke Mondglanz nur die Bedeckungen der Fixsterne erster und zweiter Größe dem bloßen Auge sehen läßt. Fast immer erfolgt im Fernrohr das Verschwinden und Wiedererscheinen eines Sternes am Mondrand plötzlich, und besonders scharf lassen sich die Eintritte am dunkeln Mondrande beobachten. Die Bedeckungen der Plejaden, des Jupiter und Saturn mit ihren Monden, sowie des Saturnusringes gehören zu den interessantesten astronomischen Schauspielen. Die Benutzung beobachteter Sternbedeckungen zur Bestimmung des geographischen Längenunterschiedes entlegener Orte geschieht sehr häufig, da sie scharfe Resultate gewährt.

Das Sonnensystem.

Geschichtliches.

12. Aus den unermeßlichen Räumen, wo bloße Lichtpunkte sich selbst dem bewaffneten Auge darbieten, gelangen wir nunmehr in das relativ beschränkte Reich der Sonne, zum Sonnensystem. In ihm ist die Sonne der Zentralkörper, und die sie umkreisenden Weltkörper sind die Planeten und Monde, die Cometen, der Ring des Thierkreislichtes, die Meteore und Sternschnuppen. Was das gesammte System im Innersten zusammenhält, ist das Gesetz der Gravitationskraft. Denn alle diese Körper gravitiren gegen die Sonne in Folge des mächtigen Zuges, welchen diese auf sie ausübt, besitzen aber außerdem eine ihnen eigenthümliche selbständige Kraft, vermöge welcher sie in jedem Augenblicke jenem mächtigen Zuge entgegenwirken, dadurch ihre Selbständigkeit erhalten und ihrem Untergange entgehen, denn, wie schon früher (2) bemerkt worden, reicht die Gravitation nicht aus, um die Bewegungen der Weltkörper zu erklären. Bloße Anziehung würde alles Körperliche um einen Punct zu vereinigen streben. Wir brauchen, um die wirklichen Bewegungen der Himmelskörper zu deuten, noch eine andere, weniger erkannte Kraft. Die eine ist nicht wunderbarer als die andere, denn den Urgrund kennen wir von beiden nicht. Aber in ihrer allgemeinen Gesetzmäßigkeit und nach ihren nächsten Ursachen ist die Gravitation vollständiger erkannt, als die andere,

jene treibende Ursache, jener erste Stoß, welcher die Weltkörper von ihren Fallrichtungen abgelenkt und in Bahnen gezwungen hat, deren elliptische Form das Resultat dieser zwei Wirkungen ist. Wenn sich um die entfernten Fixsternsonnen ebenfalls dunkle Körper von der Rangordnung unserer Planeten bewegen, so werden sie sich zu Systemen gruppiren, die unserem Sonnensystem gleichen. Aber so viele ihrer auch vorhanden sein mögen, sie können nie Gegenstand unserer directen Beobachtung werden. Will man sich daher am Fixsternhimmel nach etwas unserem Sonnensysteme Analogem umsehen, so sind es unter den uns bekannten Gegenständen etwa die Doppelsternsysteme. Ihre Natur wiederholt sich gewissermaßen in unserem Sonnensysteme, nur mit dem Unterschiede, daß sich dort Weltkörper einer höheren Ordnung um einander bewegen, daß die entfernteren kleiner sind, als die einander näheren, und daß endlich im Sonnensysteme das Kraftcentrum, der gemeinsame Schwerpunct für alle planetarischen Körper meistens **in** der Sonne, in den Doppelsternsystemen dagegen **zwischen** den Doppelsternen liegt. Diese Unterschiede sind nun freilich erheblich genug, und es zeigt sich aus diesem Beispiele, wie wenig mit Analogien geholfen ist. Alles, was die Astronomie durch Beobachtung in der Fixsternwelt erkannt hat, sind eigenthümliche Verhältnisse, auf die keine aus dem Sonnensystem hergenommene Analogie geführt hat. Es hat sich gezeigt, daß die Natur in ihren großen kosmischen Gestaltungen nicht weniger mannigfaltig ist, als in denen, welche wir auf der Erde erblicken. „Unser Sonnensystem," sagt Mädler, „mit seinen einzelnen Partialsystemen bietet uns das Bild einer großartig einfachen, wohlgeordneten Monarchie. Nicht so einfach, wenn gleich ohne Zweifel nicht minder wohlgeordnet, stellt sich uns die Fixsternwelt dar. Hier waltet keine Alleinherrschaft, hier überwiegt keine Zentralmasse. Die Gegenseitigkeit der Wirkungen tritt viel bedeutungsvoller auf, als im Sonnensystem; die einzelnen Verbindungen zu Gruppen sind weniger isolirt, weniger eng geschlossen, und wenn wir das Sonnensystem mit einem monarchischen Staate verglichen haben, so erblicken wir in der Fixsternwelt ein Bündniß größerer und kleinerer, selbständig in sich geordneter Republiken."

Die Alten kannten außer dem Mond nur 5 Planeten (Wandel- oder Irrsterne), denen sie diesen Namen gaben, weil sie sich im Thierkreise bald vorwärts, bald rückwärts zu bewegen scheinen. Diese waren: **Mercur**, **Venus**, **Mars**, **Jupiter** und **Saturn**, also diejenigen Himmelskörper,

die sich durch ihre schnellere Eigenbewegung am Fixsternhimmel leicht kenntlich machen.

Unter den ältesten Völkern hielten sich die Beobachter des Himmels lediglich an die Erscheinungen, man begnügte sich fast ausschließlich mit den Wahrnehmungen über den scheinbaren Lauf der Gestirne, hauptsächlich zum Zweck der Zeitrechnung und zur Bestimmung der Finsternisse. Die wenigen Männer, welche über die hinter den Erscheinungen verborgenen Kräfte nachdachten, gelangten meist nur zu kühnen Muthmaßungen, die alles Beweises entbehrten. Erst die vom ägyptischen König Ptolemäus gegründete und von ihm und seinen Nachfolgern geschützte alexandrinische Schule, in der sich Aristarch, Hipparch und Cl. Ptolemäus besonders auszeichneten, bearbeitete die Astronomie wissenschaftlich, indem sie eine auf Beobachtung und Erfahrung gegründete Methode befolgte. Aristarch lehrte: die Erde drehe sich um sich selbst und zugleich in einem schiefen Kreise um die Sonne. Allein damals wurde diese Lehre noch durch keine hinreichende Reihe von Thatsachen unterstützt. Hipparch, um das Jahr 160 v. Chr. der Ruhm der alexandrinischen Schule, erkannte zuerst die unregelmäßige Bewegung der Sonne und behauptete sogar, daß die Erde keineswegs im Mittelpuncte der kreisförmigen Sonnenbahn stehe. Auch entgingen seinen Beobachtungen die großen Ungleichheiten in den Bewegungen des Mondes nicht. Bewundernswerth für die damaligen Hülfsmittel ist ferner seine Bestimmung der Länge der Erdenjahre, die nur um zwei Minuten falsch ist. Er fand auch bei der Vergleichung seiner Fixsternbeobachtungen mit denen des Timocharis (etwa 300 Jahre v. Chr.), daß die Fixsterne in Bezug auf die Nachtgleichenpuncte langsam von Westen nach Osten fortrücken; ihm gebührt also die Entdeckung der Präcession der Nachtgleichen, von welcher im letzten Hauptabschnitt die Rede sein wird. Plinius sagt von Hipparch: „Er wagte es, von der Bewegung der Fixsterne überzeugt, der Nachwelt durch eine der Götter würdige Unternehmung das Verzeichniß des Himmels zu übergeben und davon alle Theile mit Instrumenten von seiner Erfindung zu bestimmen, mittels welcher er die Oerter und Größen der Sterne angab. Dadurch verschaffte Hipparch die Mittel, in Zukunft zu bemerken, ob die Sterne verschwinden oder wieder erscheinen könnten; ob sie hinsichtlich der Lage, des Lichtes und der Größe veränderlich wären, sowie er gleichfalls den Himmel denjenigen, die ihn zu benutzen würdig sein würden, als ein Erbthum hinterließ.“ Aristarch und Hipparch hatten also richtige Kenntnisse vom wahren

Weltsysteme; leider unterstützten sie ihre Behauptungen darüber, die den Sinnen so zuwider waren, mit zu wenig kräftigen Beweisgründen, so daß die Wahrheit nur zu schnell in Vergessenheit sank, und die alte Ansicht wieder herrschend wurde, die Erde liege fest und unbeweglich im Mittelpunkte des Weltalls, und alle die übrigen Himmelskörper kreisen um sie herum. Ptolemäus, der letzte große Astronom des Alterthums, welcher um das Jahr 130 n. Chr. lebte, sammelte in seinem Werke (in der arabischen Uebersetzung „Almagest“ genannt) Alles, was man zu jener Zeit von der Astronomie kannte, und indem er die damals allgemein herrschende Ansicht adoptirte, bildete er aus dem Vorhandenen ein Lehrgebäude, das unter dem Namen des ptolemäischen Systems bekannt ist. Sinnreich war in demselben die Anwendung der Epicykel *), mittels welcher Ptolemäus die scheinbaren Ungleichheiten in den planetarischen Bewegungen zu erklären versuchte. Um die Erscheinungen des Sternenhimmels zu erklären, nahm er die Erde als unbeweglichen Mittelpunct des Weltalls an und ließ die 7 damals bekannten Planeten (zu denen er außer den 5 oben genannten noch den Mond und die Sonne rechnete) um sie herum laufen. Die Erde stand nach seinem Systeme, im Mittelpuncte von 11 concentrischen Kreisen (Sphären, Hohlkugeln), und die Planeten bewegten sich in der Peripherie dieser Kreise so, daß in dem ersten, kleinsten oder der Erde nächsten Kreise der Mond einhergeht, während in den sechs folgenden immer weiteren Kreisen sich Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn bewegen. Ueber dem Kreise Saturns, der die siebente Sphäre bildete, nahm er eine achte an, in welcher alle Fixsterne sich bewegen sollten. Eine neunte und zehnte brauchte er, um die von Hipparch entdeckte Präcession zu erklären, und eine elfte endlich, die unter dem Namen des primum mobile alle anderen umschloß, hatte die Bestimmung, alle 10 inneren Sphären, in welchen jeder der genannten 7 Himmelskörper vermöge seiner ihm eigenthümlichen jährlichen Bewegung gen Ost ging, gemeinschaftlich jeden Tag von Ost nach West um die ruhende Erde zu bewegen. Diesem Impulse folgt also auch die vierte Sphäre mit der Sonne und dadurch entsteht Tag und Nacht. Um aber zugleich den Wechsel der Jahreszeiten in beiden Erdhälften nicht unerklärt zu lassen, war es nöthig, die Sonne innerhalb ihrer Sphäre noch

*) Epicykel (etwa Beikreis) bedeutet einen Kreis, in dessen Peripherie ein Gestirn umläuft, während der Mittelpunct des Kreises selbst zugleich einen größern Kreis beschreibt.

eine eigenthümliche schraubenförmige Bewegung von jährlicher Periode machen zu lassen. Man sieht leicht, daß dieses System, welches dem bloßen Augenschein entspricht, sehr complicirt ist. Der bloße Augenschein aber ist stets trügerisch, so lange die dadurch bedingten vermeintlichen Wahrheiten nicht vollständig unter sich und mit allem bereits Erkannten harmoniren — sich als naturgesetzlich richtig erweisen.

Nach Ptolemäus gerieth die Astronomie in Verfall, und obgleich die Araber im 8. und 9. Jahrhundert den Sinn für diese Wissenschaft, welche in der christlichen Welt in Vergessenheit gekommen, ungemein gefördert, so erhielten sie doch mehr nur, was die alexandrinische Schule geschaffen hatte, als daß sie demselben Wesentliches beigefügt hätten. Ihre Uebersetzung der *μεγάλη σύνταξις* des Ptolemäus ist, wie schon erwähnt, bekannt unter dem Namen Almagest. Die spärlichen Strahlen einer richtigen Einsicht, welche noch unter den Arabern Spaniens geleuchtet hatten, verloren sich mit Averroes, der eine Ahnung der wahren Planetenbewegung gehabt zu haben scheint. Ein langes Jahrtausend behauptete das ptolemäische System, die Theorie des bloßen Augenscheins, seine Herrschaft über die Menschen, allgemein und unerschütterlich stand der Glaube fest, daß die Erde wesentlich die Welt, oder wenigstens deren bedeutungsvollstes Glied und Mittelpunct sei. Dieser Glaube verfehlte nicht, den Stolz der Menschen zu nähren, und das ptolemäische System wurde, weil es mit mißverstandenen Stellen der Bibel übereinstimmte, von der Kirche geschützt und vertheidigt.

Durch die unbedingte Autorität der mittelalterlichen Kirche schien die gesunde Entwickelung des menschlichen Geistes unterbrochen und das Streben nach Erforschung der Wahrheit ertödtet. Das Interesse der Forschung hatte sich von der wirklichen Natur und dieser sublunarischen Welt abgewandt und der Welt zugekehrt, die als der letzte und höchste Zweck alles Daseins erschien. Gegen jede Erkenntniß der Natur trat Gleichgültigkeit ein, und dieser Gleichgültigkeit folgte die Ignoranz auf dem Fuße nach. Man war soweit davon entfernt zu glauben, daß die Erforschung der Gesetze der Schöpfung des allmächtigen und weisen Schöpfers zur Erziehung und Ausbildung der geistigen Natur des Menschen verhelfe, daß vielmehr das Studium der äußeren Natur gering geachtet oder mit Verfolgung bestraft wurde. Finsterer Aberglauben beherrschte daher die Welt und abgeschmackte Spitzfindigkeit galt für tiefsinnige Weisheit. Welches Alter und Kleid der Engel hatte, welcher der heil. Jungfrau die himmlische Botschaft überbracht — ob

die Engel griechisch oder hebräisch sprechen — wie viele Tausend Engel auf einer Nadelspitze Platz hätten — welches ihre Nahrung, ihre Verdauung und ihr Schlaf sei, u. s. f. — solcher Art Fragen und Untersuchungen, welche die Gegenstände heftiger und ernsthafter wissenschaftlicher Debatten bildeten und in unserer Zeit als gültige Beweise von Verstandesverwirrung angesehen würden, waren die ausgezeichnetsten Geisteskräfte gewidmet. Da entdeckte 1492 Chr. Columbus, geleitet von der richtigen Ansicht der Kugelgestalt der Erde, Amerika, und stellte Nicol. Copernicus 1543 ein dem ptolemäischen entgegengesetztes, der Vernunft, weil der Natur entsprechendes einfaches System der Planetenbewegung auf, welches nach ihm das copernicanische heißt. Denn es war die Zeit gekommen, wo die beobachteten Thatsachen anfingen sehr unbequem zu werden, und die sicher absprechende Logik den zur Gewohnheit gewordenen Ansichten von den himmlischen Bewegungen immer mehr in den Weg trat. Als die Differenz zwischen den beobachteten und berechneten Sternörtern sich mehr und mehr häufte, war man, um diese mit dem ptolemäischen System in Einklang zu bringen, genöthigt, immer neue Epicykel zu ersinnen und den früheren beizufügen. So wurde das Gewirr der himmlischen Kreise immer verwickelter, bis Copernicus kam und es löste. Er trat mit seinem Systeme nach dreiundzwanzigjährigen Beobachtungen und Forschungen hervor, und hob darin zuerst das Unbegreiflichste von Allem, die 24stündige Umwälzung des gestirnten Himmels um die Erde, durch die in entgegengesetzter Richtung erfolgende Umdrehung der Erde um sich selbst auf, die gleichförmig in der Ebene des Aequators vor sich ging. Hierauf setzte er die Sonne in den Mittelpunct als ruhenden Körper, und ließ um sie die verschiedenen Planeten sich drehen. Dadurch entdeckte er einen neuen Planeten, die Erde, indem an die Stelle der bisherigen Sonnenbahn die Erdbahn trat. Er behauptete aber nicht blos, wie einige der Alten, die Bewegung der Erde, sondern er bewies sie auch durch klare Gründe. In diesem einfachen Systeme erhielten alle Einzelkörper, die zur Sonne gehören und sie umkreisen, jeder durch seine eigene Natur und durch sein eignes Band mit ihr verbunden, eine gewisse Familienähnlichkeit; ein Gewebe wechselseitiger Beziehung und harmonischer Einstimmung umspinnt sie, und beherrscht werden sie von einem alldurchdringenden Einfluß, der sich vom Mittelpunct bis zu den äußersten Grenzen eines Systems erstreckt, als dessen Glieder sie von nun an, die Erde mit eingeschlossen, angesehen werden mußten. Copernicus hielt zwar noch

daran fest, daß sich die Planeten in Kreisen bewegen, und nach dieser Seite hin war seine Theorie unrichtig; aber sie warf dennoch den wesentlichen Kern der früheren Weltanschauung über den Haufen. Er trat damit nicht nur wissenschaftlichen Autoritäten entgegen, unter denen Tycho de Brahe der ansehnlichste Gegner war, sondern zugleich einem Glauben, der durch die Kirche geheiligt nach allen Seiten mit dem Gemüthe und der Vorstellungsweise aller Einzelnen verwachsen war. Um so mehr hat daher Copernicus gewagt. Nach der Lehre der Kirche war die Erde der Mittelpunct der physischen Welt, die Menschheit dieser Erde der höchste geweihte Tempel Gottes; aber durch Copernicus hatte die Erde aufgehört, der Mittelpunct des Weltalls zu sein, sie war seit der Entdeckung der neuen Welt nicht bloß eng und klein und eine Kugel, sie war ein bloßer Punct im unendlichen Weltraum, ein kleiner Planet, der sich um die Sonne bewegte. Nicht nur der Stolz des Menschen war gedemüthigt, sondern auch das Gewölbe des Himmels hatte in der Meinung der Völker seine Säulen, der Thron Gottes, wie man sich ihn vorstellte, seinen Platz verloren. Was der Glaube für fest begründet hielt, war zertrümmert, was für Wahrheit galt, zeigte sich als Irrthum. Zahlreiche Prophezeiungen, die Zeugen jener tief erregten Zeit, verknüpften die Thatsache der Entdeckung der neuen Welt mit dem Untergange der alten. Allein für die Grundfeste der Erde erhielt man reichen Ersatz in dem Gedanken einer frei schwebenden, durch unsichtbare Kräfte getragenen, im Weltraume weit umherwandelnden Kugel, vor Allem aber gab das copernicanische System den von kirchlicher Autorität abhängigen Geistern den Stolz des Selbstvertrauens auf die Macht der erkennenden Vernunft wieder, und dieser edle Stolz hat in den folgenden Jahrhunderten an dem sich immer mächtiger entfaltenden Baume des Naturwissens die schönsten Blüthen und edelsten Früchte gereift, bis einem der hervorragendsten Geister unserer Zeit die Auffassung des lebendigen Weltganzen in der Art gelang, daß in demselben jede einzelne Erscheinung ihre bestimmte Stelle, jedes Einzelwesen seine bestimmte Aufgabe angewiesen erhielt, daß in ihm die großen Gedanken des Universums und in den ordnenden und einigenden Gesetzen desselben die Vernunft der Welt erkannt wurde.

Nachdem das copernicanische System durch Joh. Kepler (geb. 1571) weiter entwickelt und vervollkommnet und durch alle folgenden Beobachtungen aufs Glänzendste bestätigt worden, erwarb es sich, trotz der ketzersüchtigen Verfolgungen römischer Inquisition, die allgemeine Anerkennung. Der be-

kanntlich durch die römische Inquisition zur Abschwörung des copernicanischen Weltsystems gezwungene, berühmte Physiker Galilei (gest. 1642) führte zuerst den Gebrauch des um das Jahr 1608 in Holland erfundenen Fernrohrs, mit welchem er die Mondgebirge, die Jupitermonde, die Phasen des Mondes, die Sonnenflecken u. s. f. entdeckte, in die Astronomie ein und fand, wie wir wissen (2.), die so wichtig gewordenen Gesetze des freien Falls der Körper. Kepler, sein Zeitgenosse, ist der Schöpfer der theorischen Astronomie, und sein bewundernswürdiges Werk der Vereinigung von Fleiß und Genie vollbrachte er inmitten des wildesten Kriegsgetümmels, verfolgt und seiner Habe beraubt von seinen Glaubensgenossen, flüchtig und umhergejagt im eigenen Vaterlande. „Wie ein Held ertrug er die Widerwärtigkeiten seines Geschicks und wie ein Genius von höherer Abkunft entsiegelte er der Menschheit die großen Geheimnisse der Natur.“ Er hat das System des Copernicus dadurch gründlich erwiesen, daß er zuerst die Gesetze der Planetenbewegungen fand. Zu dem Gelingen seiner Arbeit trugen vor Allem bei die genauen Beobachtungen und Berechnungen, welche er von Tycho de Brahe erhielt, besonders diejenigen über die Bewegungen des Mars. An diesem Planeten war die ganze Induction, worauf es ankam, am sichersten zu führen, weil seine Bahn am meisten vom Kreise abweicht. Kepler fand durch diese Induction folgende Gesetze:

1) Alle Planeten bewegen sich nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen um ihren Zentralkörper, die Sonne. Diese befindet sich nicht genau im Mittelpuncte einer jeden Planetenbahn; daher ist der Planet an einer Seite seiner Bahn in der Sonnennähe (Perihel), an der entgegengesetzten in der Sonnenferne (Aphel). Diese beiden Puncte werden gemeinschaftlich die Apsiden und die Linie zwischen ihnen die Apsidenlinie genannt. Sie ist die große Achse der Ellipse, während die Linie, welche senkrecht zu ihr durch den Mittelpunct der Ellipse geht, die kleine Achse heißt. Der Punct in der Apsidenlinie, wo die Sonne steht, ist der eine der beiden Brennpuncte der Ellipse.

2) Jeder Planet legt seine Bahn so zurück, daß der Radius Vector, d. i. die Linie, die vom Brennpuncte nach der Peripherie gezogen wird, in gleichen Zeiten immer gleiche Flächenräume beschreibt. Angenommen also, es seien die Flächen BACB und ECDE (Taf. I, Fig. 14) einander gleich, so durchläuft der Planet in derselben Zeit den Weg AB und ED. Die Geschwindigkeit des Planeten ist also keine gleichmäßige, sondern

der Planet bewegt sich im Perihel schneller als im Aphel. Daraus folgt, daß man die Geschwindigkeiten der verschiedenen Planeten nur nach der mittleren Geschwindigkeit vergleichen kann, welche sie in den Endpuncten ihrer kleinen Achse haben.

3) Die Umlaufszeiten der Planeten werden mit der Länge der größten Durchmesser ihrer Bahnen größer, aber nicht im einfachen Verhältnisse. Das bezügliche Gesetz wird gewöhnlich so ausgedrückt: Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne. Daraus folgt, daß die mittlere Geschwindigkeit der Planeten mit der zunehmenden Entfernung von der Sonne immer mehr abnehmen muß, so daß die entfernteren Planeten sich auf ihrer Bahn langsamer bewegen, als die näheren. Der Grund, warum die Umlaufszeit mit der Entfernung der Planeten zunimmt, ist ein doppelter; einmal hat der Planet einen größeren Weg zurückzulegen, zweitens bewegt er sich auf demselben langsamer, weil er, wie schon das zweite Gesetz zu erkennen gibt, vom Sitz der Attractionskraft entfernter ist. Uranus ist kaum 20 mal so weit von der Sonne als die Erde, aber seine Umlaufszeit dauert mehr als 80 mal so lange, wie die der Erde. Sind drei von den in diesem Gesetze verlangten Größen bekannt, so läßt sich die vierte leicht durch Rechnung finden. Es sei z. B. der mittlere Abstand der Erde, die ihren Umlauf in einem Jahre vollendet, von der Sonne etwa 20 Millionen Meilen und die Umlaufszeit Jupiters etwa zwölf Erdenjahre, so läßt sich die ungefähre mittlere Entfernung des letzteren von der Sonne folgendermaßen berechnen:

1^2 Jahr: 12^2 Jahren = 20^3 Mill. Meil.: x^3 Mill. Meil.
1 „ : 144 „ = 8000 Mill. Meil.: x^3 Mill. Meil.

also 1152000 Mill. = x^3 Mill. Meilen

und x Mill. Meilen = $\sqrt[3]{1152000}$ = 104 Mill. Meilen ungefähr = der mittleren Entfernung Jupiters von der Sonne. Auch kommt dieses Resultat der wahren mittleren Entfernung von $107\frac{1}{2}$ Mill. Meilen so nahe, daß man leicht sieht, der Unterschied rühre nur von der Ungenauigkeit der runden Zahlen her, da die mittlere Entfernung der Erde über $20\frac{1}{2}$ Millionen Meilen beträgt, also der Cubus von dieser das Product weit mehr vergrößert, als es das Quadrat der um $\frac{1}{6}$ Jahr zu groß angenommenen Umlaufszeit Jupiters thun kann.

Diese drei Gesetze, welche Kepler auf Erfahrung und Berechnung gegründet hatte, enthalten den mathematischen Hauptcodex der Mechanik des Himmels. Der Engländer Isaac Newton (geb. 1642, gest. 1727), gleich groß als Mathematiker, Physiker und Astronom, begründete durch seine zahlreichen und höchst trefflichen, in dem unsterblichen Werke Philosophiae naturalis principia mathematica niedergelegten Entdeckungen eine ganz neue Epoche in der Optik, Mechanik und Astronomie. Er faßte alle drei keplerschen Gesetze unter ein höheres Gesetz zusammen, auf welchem die ganze heutige Astronomie als Wissenschaft beruht, und zeigte seine Allgemeinheit in Beziehung auf die Weltkörper. Er erkannte die Ursache jener Gesetze in der gegenseitigen Anziehung aller Körper, oder in der allgemeinen Schwere (Gravitation), von welcher sie nothwendige Folgen sind. Newton ordnete die Bewegung der Planeten dem allgemeinen Begriff der Zentralbewegung unter, und betrachtete diese nach allen ihren quantitativen Verhältnissen, zunächst ganz abgesehen davon, wo und wie sie in der Natur zur Erscheinung kommen. Das einfachste Beispiel einer Zentralbewegung wäre die Bewegung eines Steines, den wir an einem Faden befestigt um die Hand schwingen. Der Stein wird hier, obwohl er sich durch die Schwungkraft, die er erhält, von der Hand zu entfernen strebt, doch durch den Faden fortwährend nach derselben Richtung hin zurückgehalten. In einer solchen Zentralbewegung wirken auf den Körper die Attraction und eine andere Kraft, die wir Schwungkraft nennen wollen. Ganz abgesehen von der physischen Beschaffenheit dieser beiden Kräfte, so stellt sich die rein mathematische Aufgabe, alle die Größenverhältnisse zu entwickeln, welche bei einer solchen Bewegung zwischen den verschiedenen Elementen statt haben. So läßt sich unter Anderem rein mathematisch nachweisen, daß in einer solchen Zentralbewegung der sich bewegende Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Flächen seiner Bahn durchläuft. Dies war der Inhalt des zweiten keplerschen Gesetzes. Ist ferner die Linie der Bahn irgend ein Kegelschnitt, also z. B. eine Ellipse, und denken wir uns den Mittelpunct, von dem aus die Zentralkraft wirkt, in dem Brennpuncte, so läßt sich wiederum mathematisch beweisen, daß sich die Kraft der Anziehung in jedem Momente verhält umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Körpers vom Zentrum. Ist also z. B. ein Körper an der einen Stelle seiner Bahn noch einmal so weit entfernt vom Zentrum als an einer anderen, so wird er in jener viermal schwächer angezogen als in dieser. Ebenso kann man aber auch umgekehrt nachweisen,

daß, wenn die Anziehung in diesem Verhältnisse wirkt, der Körper sich immer in einem Kegelschnitte bewegen muß. Nehmen wir ferner an, daß sich verschiedene Körper in ungleichen Abständen um ein und dasselbe Zentrum in Ellipsen bewegen, so ist damit auch die Nothwendigkeit gegeben, daß sich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten, wie die Würfel der Entfernungen. Auf solche Weise leitete Newton die physische Nothwendigkeit und den inneren Zusammenhang der drei keplerschen Gesetze ab. — Schon früh kam er durch die gewöhnlichsten Erscheinungen auf die Frage, ob nicht die Schwere, welche auf den größten erreichbaren Höhen über der Erdoberfläche nicht merklich verändert wird, sich bis zum Monde hin erstrecken sollte, ob also die Kraft, welche verhindert, daß sich der Mond von der Erde entferne, nicht eben dieselbe sei mit derjenigen, welche wir in dem Falle jedes irdischen Körpers beobachten können. An der Oberfläche der Erde fallen die Körper, wie die Beobachtung lehrt, 15 par. Fuß in der Secunde. Will man durch Anwendung des allgemeinen Gesetzes der Anziehung berechnen, ob auch der Mond durch dieselbe Kraft in jedem Momente, so zu sagen, der Erde zufällt, so muß man vor Allem die Bahn des Mondes und seine Entfernung von der Erde, und dann die Größe der Erde genau kennen. In der Berechnung, die Newton zuerst anstellte, hatte er den Durchmesser der Erde, wie man ihn damals allgemein angab, zu klein angenommen. Dadurch gelangte er zu einem Resultate, welches seine Hypothese nicht bestätigte. Im Jahr 1682 erfuhr Newton, daß bei einer neuen Gradmessung, welche Piccard vorgenommen, der Durchmesser der Erde bedeutend größer gefunden sei. Er nahm seine früheren Rechnungen wieder auf, und das Resultat derselben ließ keinen Zweifel mehr übrig, daß die Hypothese, welche er schon vor 16 Jahren verfolgt, sich als vollkommen der Wirklichkeit entsprechend zeigte. Der Satz, in welchem Newton seine Entdeckung mittheilte, heißt: „Der Mond gravitirt gegen die Erde, und wird durch diese Gravitation immerwährend von einer geradlinigen Bewegung abgelenkt und in seiner Bahn erhalten." Jetzt war die Astronomie für alle Zeiten fest begründet, und es ergaben sich aus Newton's Weltsystem mit einemmale mehr neue Resultate, als alle früheren Forscher zusammengenommen herausgebracht hatten, und sie alle wurden auf eine gemeinschaftliche Quelle zurückgeführt. Denn was zunächst vom Monde im Verhältniß zur Erde gefunden wurde, bestätigte sich in der weiteren Untersuchung als ein schlechthin allgemeines Gesetz: Alle Weltkörper ohne Ausnahme ziehen sich einander an, und wie der Mond in Epicykeln zugleich

mit der Erde sich um die Sonne bewegt, so wandeln auch die Erde und alle Planeten in Epicykeln auf der eigenen Bahn der Sonne um einen andern Mittelpunct oder Sitz einer weiteren Zentralkraft, und so weiter fort, so daß auf diese Weise unser ganzes Sternsystem mit seinen Millionen Sonnen, seinen Partialsystemen und allen, den einzelnen Fixsternen beigeordneten Systemen von sonstigen Weltkörpern in den einmal vorhandenen Bewegungen durch die Macht der gegenseitigen Gravitation erhalten wird.

Durch Newton's Lehre war also ein sehr großer Schritt gethan, und die weitere Ausbildung derselben blieb den größten Mathematikern des 18. Jahrhunderts, einem Euler, Clairaut und d'Alembert, überlassen; aber es war, wie Bessel sagt, in der Ordnung, daß anfangs ein Stillstand eintrat. Man mußte sich erst an das Licht gewöhnen, welches die Finsterniß so plötzlich zertheilt hatte; man mußte aufhören, es zu bewundern, ehe man ernstlich daran denken konnte, es gehörig zu benutzen, d. i. die Theorie Newton's weiter auszubilden. Die Aufgabe war aber, die Theorie aus dem unentwickelten Zustande, in dem sie sich noch befand, in den entwickelten überzuführen. Folgendes Beispiel wird zeigen, wie dies zu verstehen ist. Betrachten wir die Anziehung, womit die Sonne den Saturn und der Saturn die Sonne sich zu nähern streben; so würden diese Anziehungen unfehlbar diese beiden Körper einander immer näher führen und mit dem Zusammenfallen beider endigen, wenn nicht Etwas vorhanden wäre, was diesen Erfolg verhinderte. Dieses ist die nicht mit der Richtung der Anziehung zusammenfallende Bewegung, welche der Saturn, ohne daß wir wissen woher, am Anfange erhalten hat, und welche, nachdem er sie einmal besitzt, hinreicht, ihn fortwährend in einer Umlaufsbewegung um die Sonne zu erhalten, so daß die Anziehung ihn nicht zum Zusammenfallen mit der Sonne bringt, wohl aber nach der Vollendung eines Umlaufs einen neuen erzeugt, der dem vollendeten in jeder Hinsicht vollkommen entspricht. Dies ist die nothwendige Folge der Lehre von der Anziehung. Denkt man sich aber nun noch den Jupiter zu der Sonne und dem Saturn hinzu, so zieht auch dieser beide an, und der Saturn erfährt nun, außer der Kraft, welche, wenn sie allein wirkte, die eben erwähnte regelmäßige Bewegung zur Folge hätte, noch die vom Jupiter ausgehende Anziehungskraft, deren Hinzukommen natürlich nicht ohne Wirkung sein kann, also eine Abweichung von der regelmäßigen Bewegung erzeugen muß. Abweichungen dieser Art nennt man Störungen, Perturbationen; sie sind ebenso verwickelt, als das

Gesetz, aus welchem sie hervorgehen, einfach ist. Die Entwickelung der Theorie nun ist die Berechnung der Störungen, eine Aufgabe, welche, da sie befriedigt werden mußte, in der Zeit nach den Entdeckungen Newton's die größten Anstrengungen der Mathematiker erzeugte, deren Erfolg dem menschlichen Geiste stets zur größten Ehre gereichen wird. „Die mathematische Analyse fing an, ihre gewaltigen Kräfte zu entfalten.“ Die Aufgabe der Störungen wurde für die Praxis befriedigend gelöst. Die Theorie hatte durch Newton einen großen Fortschritt gemacht, und war der Praxis der Beobachtung vorangeeilt; dann überholte diese wieder jene, bis die entwickelte Theorie mit der Beobachtung wieder in vollkommener Uebereinstimmung war. Die beobachtende Astronomie erhielt ein sehr wichtiges Hülfsmittel von John Dollond (gest. 1762), indem dieser das von Newton für unmöglich gehaltene achromatische Fernrohr erfand, während James Bradley, einer der trefflichsten und fleißigsten Beobachter, die Aberration und Nutation entdeckte, Lacaille aber nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung ging, um den südlichen Sternenhimmel genau zu durchmustern. Um dieselbe Zeit wirkte Tobias Mayer in Göttingen, der die ersten Mondtafeln entwarf, welche nicht über eine Minute falsch befunden wurden. Das Spiegelteleskop wurde von dem nach England gegangenen Deutschen Wilh. Herschel in einem bis dahin nie gekannten Grade vervollkommnet. Er brachte 7 bis 20füßige, sogar ein 40füßiges Spiegelteleskop zu Stande. In Frankreich dagegen beschäftigten sich nahe um dieselbe Zeit, also in den letzten 20 Jahren des verflossenen Jahrhunderts, Lagrange und besonders Laplace umfänglich und gründlich mit der genauen Bestimmung der planetarischen Störungen und der Bewegung des Mondes nach dem Gravitationsgesetze Newton's. Eine herrliche Frucht hiervon war die Mécanique céleste von Laplace. So folgten also den immer weiter vervollkommneten Beobachtungen reiche mathematische Arbeiten voll Scharfsinn; diese große geistige Regsamkeit, sowie verbesserte Instrumente und Beobachtungsmethoden hoben die Astronomie auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit. Ganz natürlich mußte dann die Vollkommenheit in dieser Region des Wissens auch dem praktischen Leben, besonders der Seeschifffahrt, wichtige Hülfsmittel an die Hand geben.

W. Herschel entdeckte im Jahr 1781 mit Hülfe seiner selbstverfertigten Instrumente den Planet Uranus als den siebenten und später dessen Monde. Die erste Nacht des 19. Jahrhunderts war ausgezeichnet durch die Entdeckung eines anderen neuen Planeten, der Ceres, welche Piazzi

fand, der den ersten neueren sehr genauen Fixsterncatalog begründet, und diesem wichtigen Funde folgten ziemlich rasch drei andere, der der Pallas 1802 durch Olbers, verdient um die Theorie und Beobachtung der Cometen, der Juno 1804 von Harding und 1807 der Vesta durch Olbers. Diese 4 kleinen Planeten füllten die schon länger bemerkte Lücke zwischen Mars und Jupiter aus, von denen der erste 31,4, der letzte 107,5 Millionen Meilen mittleren Abstand von der Sonne hat. Die Entdeckung dieser kleinen Planeten gab dem ersten Geometer unserer Zeit, Gauß in Göttingen, die Veranlassung zur Herausgabe seines classischen Werkes über die Berechnung der Bahnen entdeckter Planeten. Den größten Aufschwung nahm die Astronomie seit dem Ende der napoleonischen Kriege, weil ihr nun von allen Seiten Unterstützung und Förderung zu Theil werden konnte. Frauenhofer verfertigte seine größeren achromatischen Fernröhre und Heliometer, die Alles, was bisher hierin geleistet worden war, an optischer Kraft und Reinheit hinter sich ließen. Um dieselbe Zeit trat als erster, zugleich theoretischer und praktischer Astronom, der in allen Theilen seiner Wissenschaft mit ungemeiner Thätigkeit wirkte, Bessel in Königsberg auf, der mit seinen nicht minder ausgezeichneten Zeitgenossen, Struve, Argelander, John Herschel, Mädler, Littrow, Arago, Airy, Encke u. a. die Astronomie erweitert, bereichert und zu einer Höhe der Vollendung gebracht hat, daß sie sich einer Sicherheit, eines Abschlusses rühmen kann, wie keine andere Disciplin der empirischen Naturforschung.

Was endlich die neueste Zeit betrifft, von 1845 bis auf unsere Tage, so hat jedes Jahr unserer Erde neue Gefährten auf ihrer Wanderung um die Sonne gegeben, indem 22 Entdeckungen neuer Planeten und Monde gemacht wurden, darunter 17 Hauptplaneten, die, mit Ausnahme von einem, alle zu den kleinen gehören. Alle diese Entdeckungen hat man zum größten Theil den vortrefflichen berliner akademischen Sternkarten zu verdanken, welche das Auffinden neuer Sterne dadurch ungemein erleichtern, daß man mit ihrer Hülfe jetzt leichter als früher das Bewegte zwischen dem Unbewegten zu erkennen vermag. Unter den neuentdeckten Hauptplaneten ist die Auffindung des Neptun, jenseits des Uranus, die glänzendste unter allen Planetenentdeckungen, weil rein theoretische Untersuchungen die Existenz und den Ort desselben haben voraussagen lassen; sie ist zugleich ein schlagender Beweis für die Wahrheit des Attractionsgesetzes, wenn es je noch eines solchen bedurft hätte. Es sei mir vergönnt, diese Entdeckung hier ausführlicher zu

erwähnen. Schon gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts wurde öfter die Vermuthung ausgesprochen, daß der Uranus nicht der letzte, äußerste Planet des Sonnensystems sei. Im Jahre 1842 äußerte Bessel zu John Herschel, daß die Bewegungen des Uranus durch die Störungen der bekannten Planeten nicht erklärt werden könnten, und vermuthete die sehr wahrscheinliche Einwirkung eines noch unbekannten Planeten. Im Jahr 1843 begann der damals noch junge pariser Astronom Leverrier sein Studium der Theorie der Uranusbewegungen und theilte am 10. November der pariser Akademie das Resultat seiner mühsamen Untersuchungen mit, aus denen sich ergab, daß bei der bisherigen Berechnung der Störungen des Uranus durch Jupiter und Saturn zahlreiche, sehr einflußreiche Glieder vernachlässigt worden waren, und daß man also durch die bisherigen Uranustafeln die Bewegung dieses Planeten unmöglich genau darstellen könne. Später fand Leverrier auch, daß selbst diese vernachlässigten Glieder noch keineswegs hinreichten, die Unterschiede zwischen Theorie und Beobachtung vollkommen zu erklären, und überzeugte sich vom Dasein eines Planeten jenseits des Uranus. In der Sitzung der pariser Akademie vom 31. August 1846 machte Leverrier bekannt, daß er zu seinen Berechnungen sämmtliche alte Uranusbeobachtungen benutzt habe, aus denen er für den neuen Planeten gefunden die halbe große Achse oder Entfernung von der Sonne zu $747^1/_5$ Millionen Meilen, Umlaufszeit $217^4/_5$ Jahre, Masse $^1/_{9300}$ der Sonnenmasse. Nun konnte er mit Hülfe anderer berechneter Elemente auch sicher auf denjenigen Ort schließen, welchen der neue Planet zu irgend einer Zeit am Himmel einnimmt, und weil es für ihn offenbar von großem Interesse sein mußte, zu erfahren, ob er eine wirkliche Planetenentdeckung gemacht habe oder nicht: so forderte er brieflich den berliner Astronomen Galle auf, sich am Himmel nach dem theoretisch gefundenen Gestirn umzuschauen. Leverrier's Brief kam am 23. September in Galle's Hände, der noch am Abend desselben Tages Bremiker's eben nur fertig gewordene Sternkarte mit dem gestirnten Himmel verglich. Er fand sehr nahe an dem Orte, welchen Leverrier für den Ort des neuen Planeten bezeichnet hatte, einen Stern achter Größe, welcher nicht in der Sternkarte stand. Der Planet war also entdeckt, und, um ganz sicher zu gehen, wurden die Beobachtungen am 24. September wiederholt, wobei es sich ergab, daß das Gestirn binnen 24 Stunden sich um 1′ 23″ in Länge bewegt habe, ganz so, wie Leverrier's Theorie erheischte. Am Abend des 25. September sahen Encke und Galle bei sehr reiner Luft durch den großen

Refractor mit 320 maliger Vergrößerung den Planeten deutlich als eine Scheibe von 2⁴/₅ Secunden scheinbarem Durchmesser, so daß gar kein Zweifel mehr über die planetarische Natur des neuen Sterns obwalten konnte.

Durch die Entdeckung des Neptun ist die Grenze unseres Sonnensystems bedeutend hinausgerückt worden, denn er nimmt, wenn wir die Cometen unberücksichtigt lassen, einen Raum von 1400 Millionen Meilen Durchmesser ein. Eine schwache Vorstellung von dieser ungeheuren Ausdehnung kann man sich machen, wenn wir uns denken, daß das schnellste Rennpferd, wenn es zur Zeit der Geburt Mosis angefangen hätte, diesen Raum in gestrecktem Laufe zu durchschneiden, heute kaum einen Drittheil seines Weges zurückgelegt haben würde.

Von den 28 Hauptplaneten, welche bis jetzt (Dec. 1852) bekannt geworden sind, sind 5, nämlich Erde, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, von Nebenplaneten (Monden, Trabanten, Satelliten) umkreist, deren Zahl auf 23 steigt. Davon gehören 1 der Erde, 4 dem Jupiter, 8 dem Saturn, 8 dem Uranus und 2 dem Neptun. Zu diesen Monden kommen noch räthselhafte Gewölkformen von Ringen, welche den Saturn concentrisch umschließen, und anfänglich auch bei Neptun vermuthet worden sind.

A. v. Humboldt gibt folgende Uebersicht über die Zeitfolge der Planeten-Entdeckungen seit der Erfindung des Fernrohrs im Jahre 1608, wobei zu bemerken, daß die mit gesperrten Lettern gedruckten Wörter die Namen von Hauptplaneten sind.

A. Das siebenzehnte Jahrhundert:

Vier Jupitertrabanten: Simon Marius zu Anspach 29. Dec. 1609, Galilài 7. Jan. 1610 zu Padua.

Dreigestaltung des Saturn: Galilài Nov. 1610; Hevelius, Ansicht von zwei Seitenstäben 1656; Huygens, endliche Erkenntniß von der wahren Gestaltung des Ringes 17. Dec. 1657.

Der sechste Saturnstrabant (Titan): Huygens 25. März 1655.

Der achte Saturnstrabant (der äußerste, Japetus): Dom. Cassini October 1671.

Der fünfte Saturnstrabant (Rhea): Cassini 23. Dec. 1672.

Der dritte und vierte Saturnstrabant (Tethys und Dione): Cassini Ende März 1684.

B. Das achtzehnte Jahrhundert:

Uranus: William Herschel 13. März 1781 zu Bath.

Der zweite und vierte Uranustrabant: W. Herschel 11. Jan. 1787.

Der erste Saturnstrabant (Mimas): W. Herschel 28. August 1789.

Der zweite Saturnstrabant (Enceladus): W. Herschel 17. Sept. 1789.

Der erste Uranustrabant: W. Herschel 18. Jan. 1790.

Der fünfte Uranustrabant: W. Herschel 9. Feb. 1790.

Der sechste Uranustrabant: W. Herschel 28. Feb. 1794.

Der dritte Uranustrabant: W. Herschel 26. März 1794.

C. Das neunzehnte Jahrhundert:

Ceres: Piazzi zu Palermo 1. Jan. 1801.

Pallas: Olbers zu Bremen 28. März 1802.

Juno: Harding zu Lilienthal 1. Sept. 1804.

Vesta: Olbers zu Bremen 29. März 1807.

(38 Jahre lang keine Entdeckung.)

Asträa: Hencke zu Driesen 8. Dec. 1845.

Neptun: Galle zu Berlin 23. Sept. 1846.

Der erste Neptunstrabant: W. Lassell zu Narfield bei Liverpool, Nov. 1846; Bond zu Cambridge (V. St.).

Hebe: Hencke zu Driesen 1. Juni 1847.

Iris: Hind zu London 13. August 1847.

Flora: Hind zu London 18. Oct. 1849.

Metis: Graham zu Markree-Castle 25. April 1848.

Der siebente Saturnstrabant (Hyperion): Bond zu Cambridge (V. St.) 16.—19. Sept. 1848, Lassell zu Liverpool 19.—20. Sept. 1848.

Hygiea: De Gasparis zu Neapel 12. April 1849.

Parthenope: De Gasparis zu Neapel 11. Mai 1850.

Der zweite Neptunstrabant: Lassell zu Liverpool 14. August 1850.

Victoria: Hind zu London 13. Sept. 1850.

Egeria: De Gasparis zu Neapel 2. Nov. 1850.

Irene: Hind zu London 19. Mai 1851 und de Gasparis zu Neapel 23. Mai 1851.

Eunomia: De Gasparis zu Neapel 19. Juli 1851.

Zwei Uranustrabanten, näher als der erste von W. Herschel: Lassell 24.—30. Oct. 1851.

.... De Gasparis zu Neapel 17. März 1852.
.... Hind zu London 22. August 1852.
(Massilia) Chacornat zu Marseille 20. Sept. 1852.
Noch zwei andere kleine Planeten 1852. De Gasparis und Hind.

Die Sonne.

13. Für die Weltkörper, welche zum Gefolge unserer Sonne gehören, ist diese der belebende Mittelpunct und die Beherrscherin ihrer Bewegungen. Die mittlere Entfernung des Sonnenzentrums von der Erde ist 20,682000 Meilen, die geographische Meile zu 3807,23 Toisen oder 22843,38 pariser Fuß gerechnet.

Das Licht braucht von der Sonne zur Erde 8′ 17″,78, weshalb der wahre Ort der Sonne dem scheinbaren um 20″,445 voraus ist.

Der scheinbare Durchmesser der Sonne in der mittleren Entfernung derselben von der Erde ist um 54″,8 größer als die Mondscheibe in mittlerer Entfernung von uns, oder 32′ 1″,8. Im Perihel aber, wenn wir im Winter der Sonne am nächsten sind, hat sich der scheinbare Sonnendurchmesser vergrößert bis 32′ 34″,6; im Aphel, wenn wir im Sommer von der Sonne am fernsten sind, ist derselbe verkleinert bis 31′ 30″,1. Der wahre Durchmesser der Sonne ist 192700 geogr. Meilen, oder mehr denn 112 mal größer, als der Durchmesser der Erde.

Die Sonnenmasse ist das 359551 fache der Erdmasse oder das 355499 fache von Erde und Mond zusammen; demnach ist die Dichtigkeit der Sonne nur etwa $^1/_4$ (genauer 0,252) der Dichtigkeit der Erde. Hieraus folgt weiter, daß die Schwerkraft an der Oberfläche der Sonne 28,36 mal größer als an der Oberfläche der Erde ist, oder daß ein Gewicht von 100 Pfund dort einen Druck verursacht, wie auf der Erde 2836 Pfund. Die Fallhöhe beträgt auf der Sonne in der ersten Secunde 428 paris. Fuß, 28 mal so viel als auf der Erde, so daß die Fallgeschwindigkeit auf der Sonne der Geschwindigkeit einer Flintenkugel zu vergleichen ist. Ein Geschöpf von unserer Kraft und unserem Körperbau, sagt Mädler, vermöchte dort kaum den Fuß emporzuheben und liefe beim Auftreten Gefahr, ihn zu zerschmettern; schon nach wenigen kurzen Schritten würde völlige Erschöpfung eintreten. Ein mit aller Kraft emporgeworfener Körper würde sich nur wenig über unseren Kopf

erheben. Selbst wenn die Atmosphäre und alles Uebrige sich wie bei uns verhielte, so würden dennoch alle unsere Pflanzen durch die ungeheure Schwerkraft zurückgehalten und niedergedrückt, dort knieholzartig am Boden kriechen. Ein Riese wäre dort kaum vermögend, die gewöhnlichsten unserer Arbeiten auszuführen. Aus allem dem folgt, daß kein einziges organisirtes Wesen auf der Oberfläche der Sonne irgend einem auf unserer Erde in physischer Beziehung ähnlich sein kann.

Die Sonne hat an 600 mal mehr Volum und 738 mal mehr Masse als alle Planeten zusammen. Sie ist so groß, daß, wenn man sich die Sonnenkugel ausgehöhlt und die Erde im Zentrum denkt, noch Raum für die Mondbahn sein würde, wenn auch die halbe Achse der Mondbahn um mehr als 40000 Meilen vermehrt würde.

Die Sonne dreht sich in $25^1/_2$ Tagen (genauer 25,34 Tagen) von Westen nach Osten um ihre Achse, und ihr Aequator ist um $7^1/_2{}^0$ (7^0,9) gegen die Ekliptik geneigt. Die Bewegung jedes Aequatorpunctes ist auf der Sonne 4 mal schneller als auf der Erde. Zur Erkennung der Umdrehung sowohl als der Neigung des Sonnenäquators verhalf das allmälige Fortrücken der Flecke auf der Sonnenscheibe.

Die Sonne ist nicht nur der Zentralkörper, sondern auch die Urquelle alles Lichtes und der strahlenden Wärme für ihr ganzes System. Als das erste Erregende und Belebende, sowie als das erste Ordnende, „sind ihre glänzenden Strahlen die Griffel, mit denen sie Licht und Schatten, das glühende Gelb des dürren Sandes und das kühle Grün der feuchten Wiese, mit denen sie die Geographie der Pflanzen und Thiere auf die Erdoberfläche zeichnet und selbst den Entwurf zu einer ethnographischen Karte für das Menschengeschlecht skizzirt.“ Die meisten Bewegungen, welche auf der Erdoberfläche stattfinden, lassen sich auf die Sonnenstrahlen, als auf ihre erste Quelle zurückführen. Durch die Sonnenwärme werden die Winde hervorgerufen und jene Störungen im elektrischen Gleichgewicht der Atmosphäre. welche Donnerwetter und das farbig flammende Polarlicht veranlassen. Sie bewirkt ferner den großen Kreislauf des Wassers, indem sie dasselbe in Dampf verwandelt, der, von den Winden durch die Atmosphäre getrieben, erkaltet wieder als Regen und Schnee niederfällt, Quellen speist und in Flüssen und Strömen wieder dem Meere zueilt. Durch die Sonnenstrahlen werden alle die Störungen des chemischen Gleichgewichts veranlaßt, welche durch eine Reihe von Verbindungen und Zersetzungen neue Producte hervor-

bringen. Sie wirken, zum Theil wenigstens, in den geologischen Veränderungen der Erdoberfläche; denn die Verwitterung der letzteren verdankt ihren Ursprung beinahe gänzlich den Wirkungen von Wind und Regen und dem Wechsel von Hitze und Frost, sowie dem durch die Winde hervorgerufenen beständigen Anschlagen der Meereswogen und den durch Wärmeunterschiede erregten oceanischen Strömungen, welche seit Jahrtausenden fortfahren, Geröllschichten aufzuhäufen oder entblößend mit sich fortzureißen, und so die Oberfläche des angeschwemmten Landes umzuwandeln. Bedenkt man den dadurch hervorgebrachten enormen Transport von Material, den hierdurch an einer Stelle vermehrten, an der anderen verminderten Druck, so ergibt sich, daß mittelbar und bis auf einen gewissen Grad selbst die Wirkungen der vulkanischen Thätigkeit durch den Einfluß der Sonne regulirt werden. Durch die belebenden Wirkungen der Sonnenstrahlen werden endlich die Pflanzen hervorgelockt und befähigt, ihre Nahrung aus unorganischen Stoffen zu nehmen; ist das geschehen, so dienen sie ihrerseits Thieren und Menschen zum Unterhalt, oder werden die Ursache mächtiger Kohlenlager, dieser unermeßlichen Kraftquelle für den Gebrauch der Menschen. Fügen wir noch hinzu, „daß das Himmelslicht in den verschiedenen Abstufungen seiner Intensität und Dauer auch in geheimnißvollem Verkehr mit dem Inneren des Menschen steht, mit seiner geistigen Erregbarkeit, mit der trüben oder heiteren Stimmung des Gemüths", so kennen wir die Kraftäußerungen der Sonne auf die Erde in ihrer größten Verallgemeinerung.

Was die *physische* Natur der Sonne betrifft, so beschränkt sich das, was wir davon wissen, mit Einschluß der schon oben erwähnten Schwereverhältnisse, auf Folgendes. Zuvörderst unterscheidet sich durch die Licht, Wärme und Leben spendende Kraft die Sonne wesentlich von allen ihren Planeten und deren Trabanten, welche ihren Glanz nur von dem reflectirten und daher *polarisirten* Sonnenlichte haben, das sich von dem unmittelbaren, *unpolarisirten* Sonnenlichte durch seine Brechungsverhältnisse bestimmt unterscheiden läßt. Indeß ist das, was wir von der Sonne sehen, nicht sie selber, denn die Sonne an sich selbst ist ein fester Körper, der im Allgemeinen mit den Planetenkörpern übereinstimmen mag, und der für sich genommen auch nicht leuchtet. Dagegen ist er auf hunderte von Meilen hinauf von einer wahrscheinlich ziemlich dichten Hülle umgeben, welche, von gasförmiger Natur, die Eigenschaft des Leuchtens, wenigstens theilweise, besitzt, und *Photosphäre* genannt wird. Dieses Leuchten wird, nach der jetzigen

Ansicht, bewirkt durch die den nächstliegenden Aethertheilchen mitgetheilte wellenförmige Erschütterung, welche sich in ähnlicher Weise, wie die Schallwellen in der Luft oder die Wellen des Wassers, nur mit einer ungleich größeren Geschwindigkeit fortpflanzen (3.). Wir können das Sonnenlicht künstlich (im Brennglase und Brennspiegel) sehr verstärken, ja sogar (durch Verbrennung von Zink auf der Kohlenbatterie) ein Licht erzeugen, welches das natürliche Sonnenlicht noch übertrifft. Nach der allgemeinen Natur des Lichtes muß, wie wir wissen (2.), die Kraft der Erleuchtung nach dem Quadrat der Entfernung abnehmen, also in doppelter Entfernung 4 mal schwächer sein. Dieses Verhältniß ist aber nicht nothwendig auf das des Reflexes, weil die verschiedene Structur und die Gestaltung der Oberfläche des erleuchteten Körpers dabei in Betracht kommt. Beides wird durch den Anblick der verschiedenen Planeten und Cometen bestätigt. Bei den letzteren, bei denen die Reflexionsfähigkeit wahrscheinlich gleich bleibt, verhält sich die Helligkeit umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung von der Sonne. Bei den Planeten ist im Allgemeinen gleichfalls nicht zu verkennen, daß vom Mercur bis Neptun hin eine sehr merkliche Abnahme der Helligkeit stattfindet, wogegen einzelne Ausnahmen, z. B. das trübere Ansehen des Mars in Vergleich zum Jupiter, auf verschiedene Reflexion hindeuten. Auf der Erde lassen sich directe Versuche der Art mit dem Sonnenlicht nicht wohl anstellen, da die Entfernung der Erde von der Sonne zu wenig variirt.

Wir haben Ursache anzunehmen, daß die Wärme, soweit sie von der Sonne abhängt, nach demselben Verhältniß abnehme, wie die Erleuchtung und die Anziehung; andrerseits aber hängt sie wieder von der besonderen Beschaffenheit der erwärmten Körper ab, so daß sich nicht annehmen läßt, daß die sogenannte specifische Wärme sich wie der Lichtreflex verhalte und folglich durch diesen bestimmen lasse. Hieraus ergibt sich die Unmöglichkeit, über die Temperaturgrade der anderen Weltkörper etwas Allgemeines und Sicheres bestimmen zu können.

Licht und Wärme richten sich ferner nach dem Einfallswinkel, also nach dem höheren oder niederern Stande der Sonne über dem Horizont eines gegebenen Ortes; die letztere auch noch nach der Zeit der Einwirkung, die bei der Stärke des Lichts (die lichtsaugenden Körper ausgenommen) nicht in Betracht kommt. Diese Verschiedenheit des Einfallswinkels, verbunden mit der Zeit der Beleuchtung, ist es hauptsächlich, wodurch auf der Erde,

sowie ohne Zweifel auch auf den übrigen Planeten, die Verschiedenheit der Klimate und Jahreszeiten bedingt ist.

Die Gründe, welche für die Annahme einer Lichthülle oder Photosphäre der Sonne sprechen, beruhen auf folgenden Beobachtungen. In einem guten Fernrohre zeigen sich in gewissen Regionen, vorzugsweise in der Nähe des Aequators, am häufigsten in der nördlichen Hemisphäre, niemals aber in den Polarregionen der Sonne, große und ganz schwarze Flecke, umgeben von etwas weniger dunkeln Rändern (Halbschatten), die manchmal wie radial gefaltet sind, wie Taf. I, Fig. 15 zeigt, wo die weiße Fläche des Papiers die leuchtende Sonnenscheibe vorstellt. Die dunkeln Flecke selbst, oft vereinzelt, häufiger jedoch zu Gruppen vereint, haben meist eine unregelmäßige Gestalt, die sich verändert, vergrößert oder verkleinert. Wenn sie verschwinden, so zieht sich zunächst der dunkle Zentralfleck zu einem Punct zusammen, und wenn auch dieser verschwunden ist, so sieht man noch eine Zeit lang seinen halbdunkeln Rand. Bei allen ihren Veränderungen zeigen die Flecke einen so hohen Grad von Beweglichkeit, daß man dadurch an eine elastische, gasförmige Flüssigkeit erinnert wird. Sonnenflecke, welche 10000 Meilen im Durchmesser hatten, sah man innerhalb 6 Wochen durch Zusammenrücken ihrer Ränder gänzlich verschwinden, was eine Schnelligkeit der Bewegung von durchschnittlich etwa 250 Meilen in 24 Stunden ergibt. In der Nähe der größeren Flecke oder ihrer Gruppen beobachtet man oft unregelmäßig gewundene Regionen von einer ganz besonderen Helle und Lichtstärke, sogenannte Sonnenfackeln, am häufigsten dann, wenn die Flecke dem östlichen oder westlichen Sonnenrande nahe sind. Auch diese Fackeln zeigen eine große Beweglichkeit, und sind manchmal die Vorläufer neu entstehender Flecke, die sich nachher zwischen ihnen zeigen. Außer den Flecken und Fackeln zeigt drittens die Sonnenoberfläche in den Regionen, wo jene nicht vorzukommen pflegen, ein wie mit Sand bestreutes Ansehen, und durch starke Vergrößerung unterscheidet man eine Menge äußerst feiner mattgrauer Pünctchen von veränderlicher Gestalt und Lage, welche am meisten gewissen wolkigen, chemischen Niederschlägen in Flüssigkeiten gleichen.

Zur Erklärung der Sonnenflecke und Fackeln sind mancherlei Voraussetzungen gemacht worden. So hat man unter Anderem früher die Flecke für Rauch- und Qualmmassen erklärt, die sich aus den Flammen entwickelt, oder für Schlackenmassen, die in dem glühenden Meere der

Sonne obenauf schwimmen. Allein es ist ganz unstatthaft, an ein wirkliches Brennen der Sonnenoberfläche zu denken, weil dieses ewige Feuer, das seine Nahrung fortwährend von der Sonne ziehen müßte, eine Verminderung ihres Durchmessers zur nothwendigen Folge hätte, was durch Wahrnehmungen nicht im geringsten bestätigt wird. Auch verhalten sich die Wirkungen des Sonnenlichts nicht bloß quantitativ, sondern auch qualitativ ganz verschieden von denen eines Feuers. Schlacken würden ferner auf der äußeren Oberfläche des Lichtmeeres schwimmen, Rauch sich über dieselbe erheben, während, wie sich zeigen wird, die schwarz erscheinenden Stellen der Flecke tiefer liegen als das Uebrige. Und wenn endlich die Undulationstheorie, nach welcher das Licht gar kein von der Sonne zur Erde fortschießender Strahl im eigentlichen Sinne, sondern nur eine sich fortpflanzende schwingende Bewegung der Aetherwellen ist, Recht hat, so wird ein Brennen des Sonnenkörpers vollends als nutzlos und überflüssig erscheinen. Unter allen diesen Hypothesen hat vielmehr die Annahme Herschel's von einer den Sonnenkörper umhüllenden Photosphäre die meiste Wahrscheinlichkeit für sich. Es werden nämlich nach den Rändern zu die Flecke in perspectivischer Verkürzung gesehen, welche zwar nothwendigerweise sowohl für den Halbschatten oder Hof als für den Kernfleck stattfindet, doch mit dem wichtigen Unterschiede, daß die scheinbare Fortrückung des letzteren etwas langsamer ist, als die des ersteren, und daß der Kernfleck daher zuletzt nicht mehr in der Mitte seines Hofes steht, sondern östlich zurückbleibt, so daß häufig nur noch im Norden, Westen und Süden, nicht aber im Osten der Kernflecke, ein Hof wahrgenommen wird. Umgekehrt zeigen die Flecke bei ihrem ersten Erscheinen am Ostrande der Sonne nur östlich einen Hof, kommen aber, wenn sie nach etwa 6 Tagen die Mitte der Scheibe erreicht haben, in die Mitte des Hofes zu stehen. Dieser Umstand begünstigt nun ganz vorzüglich die Annahme einer Photosphäre; denn er zeigt, daß die schwarzen Kernflecken auf einer kleineren Kugel als die Höfe sich bewegen, daß also erstere, in Beziehung auf den Hof und die helleren Theile der Sonnenoberfläche, einen tiefen Grund bilden. Nach Herschel entstehen nun die dunkeln Flecke dadurch, daß sich in der Photosphäre Lücken bilden, wie in unsern Wolken, durch welche der an sich, und wenigstens vergleichsweise, dunkle, feste Sonnenkörper sichtbar wird. Den Hof derselben erklärt Herschel dadurch, daß er annimmt, die leuchtende Schicht der Photosphäre p, Fig. 16, ruhe nicht unmittelbar auf dem festen und dunkeln Sonnenkörper S, sondern sei von

ihm getrennt durch eine durchsichtige Gashülle a, innerhalb welcher eine das Licht stark reflectirende Wolkenschicht w schwebe. Wenn nun durch irgend eine Ursache, etwa durch stark aufwärts steigende Strömungen, in die Wolken- und Lichthülle eine Lücke gerissen werde, der Art, daß die Ränder der Lichtlücke weiter von einander abstehen, als die der Wolkenlücke; so erscheinen die Ränder der Wolkenschicht als Halbschatten oder Hof rings um einen dunkeln Fleck, der ein Stück der Oberfläche des dunkeln Sonnenkörpers sei. Beobachtungen scheinen eine Vertiefung der Kernflecke von 3 — 500 Meilen anzudeuten. — Was die Sonnenfackeln betrifft, so findet man diese weit weniger bestimmt charakterisirt als die dunkeln Flecke. Sind diese Lücken in der Lichthülle, so scheint der Umstand, daß die Fackeln sich oft in der Nähe der Flecke zeigen, dafür zu sprechen, daß sie partielle Anschwellungen der Lichthülle seien, wie denn eine Lücke in der Lichthülle oder ein Zurückziehen derselben nicht wohl anders gedacht werden kann, ohne ein gleichzeitiges Anhäufen von Licht. — Ganz unbestimmt ist endlich die Erklärung des punctirten, gleichsam marmorirten Ansehens der Sonnenoberfläche. Sind diese dunkeln Puncte nur sehr kleine Flecke, die in gewissen Regionen nie größer werden, oder rühren sie von einer ungleichmäßigen Mengung des Lichtmediums mit einer nicht leuchtenden oder wolkigen Atmosphäre her, dies bleibt zur Zeit noch unentschieden.

Es scheint eine periodische Zu- und Abnahme der Sonnenflecke bemerkbar zu sein. Nach den Beobachtungen von Schwabe in Dessau von 1826 bis 1837 nahm die Zahl sämmtlicher Fleckengruppen eines Jahres zwischen 1828 und 1833 von 225 bis 33 ab, und stieg dann wieder bis 1837 auf 333. Die Zahl der Tage, in welchen die Sonne ganz fleckenfrei war, betrug im Jahre 1833 die Summe von 139 Tagen, im Jahr 1831 dagegen nur einen einzigen Tag. Die aus den Beobachtungen Schwabe's sich ergebende sehr bedeutende Ab- und Zunahme der Gruppen und die ihr ganz entsprechende Zu- und Abnahme der fleckenfreien Tage scheint eine Periodicität zu verrathen. Dazu kommt noch, daß mit der größeren Zahl der Gruppen auch eine größere Ausdehnung der einzelnen, sowie ein größerer Durchmesser der Kernflecke verbunden ist. Ganz neuerlich hat auch Wolf in Bern, gestützt auf Beobachtungen, die Ansicht ausgesprochen, daß die Flecken nicht zufällig kommen, sondern Gesetzen unterworfen seien und nach bestimmten Perioden auftreten. Er gibt für die Periode der Sonnenflecken 11 Jahre und einen Bruchtheil an, so daß 9 Perioden gerade ein Jahrhundert aus-

machen; nach ihm entsprechen in jedem Jahrhundert die Jahre 0, 11, 22, 33, 44, 55, 66, 77, 88 einem Minimum von Sonnenflecken, und je das 5. Jahr trete ein mittlerer Zustand ein. Die Frage der Periodicität in der Erscheinung der Sonnenflecken ist insofern von Interesse, als nicht bezweifelt werden kann, daß alle Zustände der Sonnenoberfläche, unter denen die Flecke unstreitig eine sehr hervorstehende Rolle spielen, im engsten Zusammenhange stehen mit der Licht- und Wärmemenge, die uns von der Sonne zustrahlt, und dadurch mit dem Magnetismus der Erde. Obwohl nun die durch die Flecke verursachte Verminderung des Areals der wirklich leuchtenden Fläche im Ganzen, selbst bei der größten bis jetzt vorgekommenen Fleckenfülle, sehr unbedeutend ist (sie steigt wohl nie auf $^1/_{100}$), und die Entziehung des Lichts an der Stelle der Kernflecke doch keineswegs eine absolute ist; so hat man doch die, freilich durch keine directen Beobachtungen begründete, Ansicht ausgesprochen, daß jene Verminderung der leuchtenden Fläche auch eine Verminderung des Lichtes und der Wärme zur nächsten Folge haben müsse. Im Gegensatz zu dieser Meinung äußerte Herschel, die Sonnenflecke oder vielmehr ihre Ursache vermöchten wohl eher die Wärme zu vermehren als zu vermindern. Eine starke und schnelle Fleckenbildung setzt große Veränderungen und diese eine erhöhte Thätigkeit in der Photosphäre der Sonne voraus, die Wirkung der Sonne müsse mithin zu solcher Zeit kraftvoller, durchdringender sein, als in anderen ruhigeren Zeiten, bei gleichsam erschlaffter oder gebundener Thätigkeit der Lichtsphäre. Er machte den Versuch, dies praktisch nachzuweisen, und glaubte gefunden zu haben, daß in Jahren, wo die Flecken sich häufiger zeigten, auch die Ernten reichlicher als in anderen ausfielen. Ebenso will auch Wolf gefunden haben, daß die Jahre, in welchen die Sonnenflecke am stärksten auftreten, sich durch Trockenheit und Fruchtbarkeit, aber auch durch Nordlichter und Erdbeben auszeichnen, und daß alsdann die Abweichung der Magnetnadel am größten sei. Mag auch die Ansicht Herschel's hinsichtlich des Witterungsverlaufes auf mehr Wahrscheinlichkeit Anspruch machen können, als die erstere, so viel bleibt immerhin gewiß, daß, wie Mädler bemerkt, in Bezug auf entfernte Weltkörper einzelne Länder der Erde so viel als Nichts, und nur allein die Erdkugel als ein Ganzes Etwas ist. Welches auch immer die Ursache einer Vermehrung oder Verminderung der Sonnenthätigkeit sei, die daraus hervorgehende Veränderung, sofern sie stattfindet, trifft stets die gesammte Erdoberfläche. Sie kann zufällig, in Folge localer Gegenwirkungen, an einzelnen Orten weniger

bemerkbar hervortreten als an anderen, aber local im eigentlichen Sinne kann sie niemals sein.

Noch in einer anderen Beziehung sind kleine constante Ungleichheiten der mittleren Temperatur an der Erde gefunden worden, je nachdem nämlich vermöge der schiefen Stellung des Sonnenäquators zur Erdbahn (Ekliptik) mehr die eine oder die andere Sonnenhemisphäre der Erde zugekehrt ist. Daraus würde folgen, daß die Wärmestrahlung der Sonne, abgesehen von der Fleckenbildung, überhaupt und constant eine etwas ungleiche sei in verschiedenen Regionen ihrer Oberfläche, die nach einander der Erde zugekehrt sind, namentlich in den beiden Hemisphären. Die Unterschiede der mittleren Temperatur, welche durch eine solche ungleiche Wärmestrahlung der Sonne hervorgebracht werden, sind aber jedenfalls so gering, daß sie nur durch sehr genaue Instrumente gefunden werden können.

Was endlich das Leuchten der Sonne überhaupt betrifft, so bringt es Mädler in Zusammenhang mit der großen Schwerkraft an ihrer Oberfläche. Weil nämlich durch Verdichtung der Luft auf das 30—40fache ihres normalen Zustandes nicht allein Wärme erregt, sondern auch momentane Lichterscheinungen hervorgebracht werden können; so glaubt er, weil auf der Sonne eine ähnliche Verdichtung fast immer stattfinde und diese Massen sich auf Hunderte von Meilen in die Höhe erstrecken, daß ein mit einer so stark verdichteten gasförmigen Hülle umgebener Körper, wie die Sonne, leuchten müsse, und daß eine sehr beträchtliche Masse überhaupt nothwendige Bedingung des Selbstleuchtens sei. W. Herschel hält das Sonnen- und Fixsternlicht für eine Wirkung eines elektro-magnetischen Prozesses, wie unser Polarlicht, und auch v. Humboldt scheint diese Ansicht zu theilen, wie aus einer früher angeführten Stelle aus seinem Kosmos hervorgeht.

Die Planeten.

Die Gruppirung und Abstände der Planeten.

14. Die Sonne und die Planeten und Monde sind ohne Zweifel für einander, mit einander und in Uebereinstimmung geschaffen und stellen ein organisches in sich geschlossenes Ganze vor, während die Cometen, Meteore und Sternschnuppen außer jenem organischen Verbande, aber durch die Gravitation mit der Sonne in Beziehung stehen. Ihrer Lage nach bildet die Sonne den Mittelpunct ihres reichen und mannigfaltigen Systems. Zwar fallen der Mittelpunct der Sonne und der Schwerpunct des Sonnensystems nicht völlig zusammen, letzterer kann sogar, bei den Conjunctionen Jupiters und Saturns, noch etwas außerhalb des Sonnenkörpers fallen; doch ist dies im Ganzen von wenig Belang. Es entstehen aber daraus kleine Schwankungen, die sie in Folge der planetaren Störungen um den allgemeinen Schwerpunct des Systems macht und welche in den astronomischen Rechnungen auf die Planeten mit übertragen werden. Die Sonne hat also eine dreifache Bewegung: diese oscillirende, die Umdrehung um ihre Achse und die progressive Bewegung im Weltraum.

Die Hauptplaneten, deren jeder eine Welt für sich bildet, bewegen sich alle fast in einer und derselben, durch den Mittelpunct des Sonnenkörpers gehenden Ebene. Mercur bildet die innere Planetengrenze mit einem Abstand von etwas über 8 Millionen Meilen von der Sonne, Neptun, mit 621 Millionen Meilen Entfernung vom Zentralkörper, die dermalige

äußere Planetengrenze. In dem weiten Raum zwischen der mittleren Entfernung des Mars, fast 32 Millionen Meilen, und des Jupiter, 107½ Millionen Meilen, bilden die bis jetzt aufgefundenen 20 kleinen oder teleskopischen Planeten (Asteroiden, Planetoiden) eine eigene sehr ausgedehnte mittlere Gruppe, gleichsam einen Ring von etwa 33 Millionen Meilen Breite, welcher indeß dem Mars näher liegt als dem Jupiter. Auf beiden Seiten dieses Planetoidenringes befinden sich die 4 sonnennahen inneren Planeten, Mercur, Venus, Erde und Mars, wie sie nach der Reihe ihres Abstandes von der Sonne auf einander folgen, und die 4 sonnenfernen äußeren: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Die inneren Planeten bieten manche Aehnlichkeiten unter sich und Kontraste mit den äußeren, gesellschaftsliebendsten unter den Planeten dar, während die mittleren durch ihre beträchtliche Kleinheit (Pallas und Ceres sind darunter die größten), ihre in einander verschlungenen, stark geneigten und excentrischen Bahnen den abweichendsten Charakter haben. Die inneren Planeten zeigen sich alle von mäßiger Größe, bis auf die Erde mondlos, übereinstimmend in der Beschaffenheit ihrer Atmosphäre, ziemlich gleich in fast 24stündiger Umdrehungszeit um ihre Achse rotirend, dichter und weniger abgeplattet als die äußeren Planeten. Diese dagegen sind mächtiger, größer, 5mal weniger dicht, mehr als 2mal schneller in der Rotation um ihre Achse, daher auch stärker abgeplattet, und mondreicher als die inneren im Verhältniß von 22 : 1. Die inneren sind alle kleiner als die Erde, der dritte dem Abstande nach, die äußeren kleiner als Jupiter, der erste dem Abstande von der Sonne nach, aber 4,2 bis 11,2 mal größer als die Erde. Von den äußeren Planeten endlich, deren keiner ¼ der Dichtigkeit der Erde besitzt, bietet Saturn das einzige Phänomen des ganzen Sonnensystems, das Wunder eines seinen Hauptplaneten frei umschwebenden Ringes dar.

Die mittleren Abstände der Planeten von der Sonne, die mittlere Entfernung der Erde (20,682000 Meilen) als Einheit angenommen, ergeben sich aus umstehender Tabelle v. Humboldt's:

Abstände der Planeten von der Sonne:

Mercur	0,38709
Venus	0,72333
Erde	1,00000
Mars	1,52369

Kleine Planeten:

Flora	2,202
Victoria	2,335
Vesta	2,362
Iris	2,385
Metis	2,386
Hebe	2,425
Parthenope	2,448
Asträa	2,577
Egeria	2,582
Irene	2,584
Eunomia	2,647
Juno	2,668
Ceres	2,767
Pallas	2,773
Hygiea	3,151
5 andere	?

Jupiter	5,20277
Saturn	9,53885
Uranus	19,18239
Neptun	30,03628

Siehe hierzu Taf. III, Fig. 3.

Umschließende und eingreifende Bahnen, Bahnebenen und Rotation.

15. Wenn für die Hauptplaneten das sie beherrschende Kraftzentrum in den Sonnenkörper fällt, so liegt es für die Monde in ihren Hauptplaneten, welche sie vermöge ihrer größeren Nähe mit überwiegender Kraft anziehen. Die Zentralbewegungen der Hauptplaneten, oder ihre Umläufe (Revolutionen) um die Sonne, geschehen ohne Ausnahme in Ellipsen, in deren einem Brennpuncte sich die Sonne befindet, und deren Excentricität oder die Entfernung des Brennpunctes vom Mittelpunct der Ellipse die weniger oder mehr gedrückte Gestalt der Bahn bedingt. Die Richtung aller Planetenumläufe ist übereinstimmend von Westen nach Osten. Dasselbe gilt von den Umläufen der Trabanten um ihre Hauptplaneten (vielleicht mit einer einzigen Ausnahme). Die sonnennahen Planeten zeigen auf ihrer Bahn um die Sonne eine schnellere, freudigere Bewegung als die sonnenfernen, weil die Attractionskraft des Zentralkörpers im Verhältniß der Quadrate der Entfernung schwächer wird. Jeder entferntere Planet schließt mit seiner Bahn die Bahnen der sonnennäheren ein; nur die 20 kleinen Planeten, welche den weiten Raum zwischen Mars und Jupiter einnehmen, machen hiervon unter sich eine Ausnahme, indem sie in stark elliptischen, unter sich eng verschlungenen Bahnen ihre Jahresumläufe beschreiben, die wie Kettenringe in einander greifen. Stellt man sich ihre Bahnen etwa wie Reifen von dünnem Drahte vor, so kann man die umschließenden einzeln nach einander wegnehmen, die eingreifenden aber nicht. Der Astronom d'Arrest hat durch seine Untersuchungen von 13 kleinen Planeten — also mit Ausnahme der sieben später entdeckten — folgende Systeme von eingreifenden und umschließenden Bahnen gefunden:

1) Hygieabahn. Eingreifende Bahn: Iris.
Isolirte Bahnen: Victoria, Parthenope, Asträa, Metis, Flora, Vesta, Ceres, Juno, Hebe, Egeria u. Pallas.

2) Ceresbahn. Eingreifende Bahnen: Hebe und Juno.
Isolirte Bahnen: Hygiea, Parthenope, Asträa, Iris, Metis, Flora, Vesta, Victoria, Egeria und Pallas.

3) Parthenopebahn. Eingreifende Bahnen: Asträa, Flora, Vesta, Iris, Juno, Victoria, Pallas.
Isolirte Bahnen: Metis, Ceres, Hebe, Egeria und Hygiea.

4) Pallasbahn. Eingreifende Bahnen: Parthenope, Iris, Metis, Flora, Victoria, Juno und Hebe.
Isolirte Bahnen: Hygiea, Asträa, Vesta, Ceres und Egeria.

5) Egeriabahn. Eingreifende Bahnen: Asträa, Iris, Metis, Flora, Victoria, Juno und Hebe.
Isolirte Bahnen: Hygiea, Parthenope, Vesta, Ceres und Pallas.

6) Vestabahn. Eingreifende Bahnen: Hebe, Juno, Victoria, Flora, Metis, Iris, Asträa, Parthenope.
Isolirte Bahnen: Ceres, Pallas, Hygiea und Egeria.

7) Florabahn. Eingreifende Bahnen: Vesta, Victoria, Egeria, Pallas, Metis, Iris, Asträa, Parthenope.
Isolirte Bahnen: Juno, Ceres, Asträa und Hygiea.

8) Irisbahn. Eingreifende Bahnen: Victoria, Flora, Metis, Vesta, Hebe, Egeria, Pallas und Parthenope.
Isolirte Bahnen: Juno, Ceres, Asträa und Hygiea.

9) Asträabahn. Eingreifende Bahnen: Flora, Vesta, Metis, Juno, Hebe, Victoria, Egeria und Parthenope.
Isolirte Bahnen: Ceres, Iris, Pallas und Hygiea.

10) Hebebahn. Eingreifende Bahnen: Asträa, Iris, Metis, Vesta, Victoria, Ceres, Juno, Egeria, Pallas.
Isolirte Bahnen: Hygiea, Parthenope und Flora.

11) Junobahn. Eingreifende Bahnen: Parthenope, Asträa, Metis, Vesta, Ceres, Victoria, Hebe, Pallas und Egeria.
Isolirte Bahnen: Hygiea, Iris und Flora.

12) Metisbahn. Eingreifende Bahnen: Flora, Vesta, Hebe, Victoria, Juno, Egeria, Pallas, Iris und Asträa.
Isolirte Bahnen: Ceres, Parthenope und Hygiea.

13) Victoriabahn. Eingreifende Bahnen: Juno, Hebe, Egeria, Pallas, Vesta, Flora, Metis, Iris, Asträa und Parthenope.
Isolirte Bahnen: Ceres und Hygiea.

Die Bahnen der 7 übrigen kleinen Planeten sind noch nicht hinlänglich beobachtet, um die eingreifenden (kettenartigen) und isolirten (umschließenden) Bahnen bezeichnen zu können. (Siehe Taf. IV.)

Die Bahnebenen der Planeten sind alle mehr oder weniger gegen die Ebene des Sonnenäquators geneigt, wie der Durchschnitt für die vier inneren Planeten, Fig. 1, Taf. III. zeigt, wo ☉ die Sonne, ☿ den Mercur, ♀ die Venus, ♁ die Erde und ♂ den Mars bezeichnet. (Fig. 2 stellt die Neigungen der Erdbahn und der zwei unteren Planetenbahnen gegen den Sonnenäquator dar, Ansicht von West nach Ost — aus den nordöstlichen Sternen der Jungfrau, — das Auge parallel mit der verlängerten Ebene des Sonnenäquators.) Die Bahnen der vier inneren Planeten haben eine verschiedene Neigung sowohl unter einander, namentlich gegen die Erdbahn (Ekliptik), als auch gegen die Ebene des Sonnenäquators. Dies gilt auch von den übrigen Planeten. In Beziehung auf den Sonnenäquator beträgt aber die Abweichung bei keinem, außer Uranus und Pallas, über $7^1/_2$ Grade. Obgleich nun die Lage der Bahnen für eine klare Einsicht in die Verhältnisse derselben äußerst nützlich ist; so ist doch eine auf den Sonnenäquator gegründete Bestimmung ihrer Neigungen für die Astronomen nicht brauchbar, weil ihr theils wegen der Sonnenstrahlen die Schärfe fehlt, theils bei der langen Rotationsperiode der Sonne die Veränderungen, welche fast täglich mit ihren Flecken vorgehen, und sie oft nach Vollendung einer Periode kaum als die nämlichen wieder erkennen lassen, die Resultate der Beobachtung zu unsicher machen, als daß sie der von den Astronomen geforderten Genauigkeit genügen könnten. Daher beziehen sie alle ihre Angaben auf die Ekliptik, als einer bequemeren Fundamentalebene. Die Abweichungen der kleinen Planeten werden indeß dadurch größer, als sie es

in Beziehung auf den Sonnenäquator sind, doch bleiben sie alle innerhalb der Thierkreiszone (11.).

Die Sonne und alle Planeten drehen sich um ihre Achsen, und die Dauer einer einmaligen Umdrehung heißt ihre Rotation, von welcher ihre Tageslänge abhängt, wie von dem Umlauf der Planeten um die Sonne die Dauer ihres Jahres. Die Richtung aller dieser Achsendrehungen ist von Westen nach Osten. Die Stellung der Achsen gegen die Bahnebenen ist unveränderlich bei dem jährlichen Umlaufe. Die Dauer der Rotation ist bei den 4 inneren Planeten wenig verschieden; sie ist langsam, kommt bei Mercur und Venus fast derjenigen der Erde gleich, und beträgt bei Mars etwas über $24^1/_2$ Stunden. Bei Jupiter und Saturn aber ist sie, ungeachtet ihrer jeden andern Planeten übertreffenden Größe, von einer überraschenden Kürze, indem Jupiter in $9^{11}/_{12}$ und Saturn in nahezu $10^1/_2$ Stunden sich um seine Achse dreht. Vergleichen wir die Rotationen der inneren und äußeren Planeten mit ihren Umläufen, so erscheinen diese bei den inneren beziehungsweise schneller, bei den äußeren langsamer als ihre Rotationen. Unterscheiden wir die Rotationsgeschwindigkeit in Zeit von der räumlichen, indem die Geschwindigkeit jedes Punctes des Aequators ebenso von dem Umfang des letzteren als von der Geschwindigkeit der Rotation abhängt; so stellt sich ein ähnliches Verhältniß heraus, wie vorhin, sie wird klein bei den inneren, sehr groß bei den äußeren Planeten. Bei Mercur und Mars, von denen jener 671, dieser 892 geographische Meilen im Aequator-Durchmesser hat, beträgt sie 541 und 685 Fuß in einer Zeitsecunde, bei der Erde mit 1719 Meilen Durchmesser 1447 paris. Fuß, bei Jupiter dagegen, mit einem Durchmesser von 19294 geogr. Meilen, ist sie über 6000 Fuß in der Secunde.

Die Elemente der Planetenbahnen.

16. Was die Gesetze Kepler's (12.) von den Planeten in Bezug auf die Sonne lehren, reicht nicht hin, die Bahn eines Planeten hinsichtlich ihrer Lage im Weltraume vollständig kennen zu lernen. Schon die alten Astronomen unterschieden bei der Bahn eines Planeten mehrere Bestimmungsstücke, welche von ihnen die Elemente der Bahn genannt

wurden, eine Benennung, die noch heut zu Tage gebräuchlich ist, und nicht nur von den Planeten, sondern auch von den Cometen und Doppelsternen gilt. Mit Hülfe dieser Bahnelemente läßt sich der allaugenblickliche Stand eines Gestirns in seiner Bahn sowohl für jetzige, als künftige und vergangene Zeiten angeben. Es ist natürlich, daß sich der Astronom bei der Bestimmung der Elemente der Planeten zunächst, und soweit es angeht, auf die Bahn der Erde, also auf die Ekliptik bezieht, wobei er es besonders mit ihrer Ebene zu thun hat, die er sich bis zu den äußersten Grenzen unsers Systems erweitert vorstellt. Da die Elemente einer Gestirnbahn diejenigen Bestimmungsstücke derselben sind, wodurch sie sich von den Bahnen aller anderen Sterne unterscheidet; so kann z. B. aus den Bahnelementen zweier Cometen sicher geurtheilt werden, ob diese beiden Cometen wirklich nur einer und derselbe oder zwei verschiedene sind, da sonst ein solcher Schluß bei den meisten Cometen ganz unmöglich wäre, weil die Wiederkehr dieser Weltkörper meistens erst nach Jahrhunderten oder Jahrtausenden erfolgt.

Es gibt 7 Elemente für die Bahn eines jeden um die Sonne laufenden Weltkörpers:

1) die halbe große Achse der Bahn;
2) die Excentricität der Bahn;
3) die Länge des Perihels für eine gewisse gegebene Zeit;
4) die mittlere Länge des Planeten zur Zeit des Perihels, oder die Epoche;
5) die siderische Umlaufszeit des Planeten;
6) die Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn, oder die Durchschnittslinie der Bahnebene mit der Ebene der Ekliptik, und
7) die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.

Von diesen 7 Elementen betreffen die beiden letzten die Lage der Bahnebene, die 5 ersteren die eigenthümliche Gestalt der elliptischen Bahn und die Bewegung des Planeten in derselben. Das erste kennen wir bereits aus 12; unter Excentricität versteht man den Abstand des Mittelpunctes einer Ellipse von dem einen oder dem anderen Brennpuncte.

Das dritte Element, die Länge des Perihels, bestimmt die Lage der großen Achse. Ist in Fig. 1, Taf. VI. AP die große Achse einer elliptischen Planetenbahn, in deren einem Brennpuncte S sich die Sonne befindet, ist ferner die Ebene des Papiers die Ebene der Ekliptik, ♈AF♌ der Theil der

Bahn, welcher *unter*, und ☊Pp☊ der andere Theil der Bahn, welcher *über* der Ekliptik liegt; so ist, wenn F den Frühlingsnachtgleichenpunct und P das Perihel bezeichnet, der Winkel PSF die Länge des Perihels.

Zum Verständniß des vierten Bestimmungsstückes, der mittleren Länge des Planeten zur Zeit des Perihels, mag Folgendes dienen. Es sei aus S (Fig. 1, Taf. VI.) als Mittelpunct mit dem Halbmesser SA = SP′ ein Kreis beschrieben, der von einem eingebildeten Körper mit stets gleichförmiger Geschwindigkeit in derselben Zeit durchlaufen wird, als der Planet braucht, seine wahre elliptische Bahn ☋AF☊Pp☋ zu durchlaufen. Man nennt alsdann diesen, sich gleichförmig im Kreise fortbewegenden Körper den *mittleren Planeten* und seine gleichförmige Geschwindigkeit seine *mittlere Bewegung*. Wenn man das Mittel aus sämmtlichen verschiedenen Geschwindigkeiten des wahren Planeten nimmt, d. h. wenn man die Umlaufszeit des letzteren durch 360 dividirt, so findet man die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher der Planet in seinem Laufe einen Grad zurücklegt. Wenn nun der wahre Planet in P, also im Perihel steht, und zu dieser Zeit der mittlere Planet in m sich befindet, so heißt der Winkel mSF, oder der Bogen mP′F′ die mittlere Länge des Planeten zur Zeit des Perihels, sowie diese Zeit selbst die *Epoche*.

Hinsichtlich des fünften Elementes ist zu bemerken, daß man bei den Planeten drei Umlaufszeiten oder Revolutionen unterscheidet, die *siderische*, *tropische* und *synodische*. Die Revolution eines jeden Planeten ist der Zeitraum, während welchem er seinen ganzen Umlauf um seinen Zentralkörper vollendet, und sie wird verschieden benannt, je nach dem Puncte, auf den sie bezogen wird. So ist die *synodische* Umlaufszeit die Revolution in Bezug auf die Sonne, die *tropische* Umlaufszeit diejenige in Bezug auf die Nachtgleichenpuncte, die *siderische* Umlaufszeit endlich ist der Zeitraum, nach dessen Verlauf ein Planet 360° um die Sonne zurückgelegt hat; sie ist also die Umlaufszeit in Bezug auf die Fixsterne.

Für das sechste Bestimmungsstück merke man sich Folgendes. Der Durchschnitt zweier Bahnebenen ist eine gerade Linie, welche die *Knotenlinie* heißt; in Fig. 1, Taf. VI. ist es die Gerade ☋S☊. Von den beiden Endpuncten derselben, oder den Durchschnittspuncten der Planetenbahn mit der Ekliptik, heißt der eine ☊ der *aufsteigende Knoten*, weil, wenn der Planet durch denselben geht, er aus dem unterhalb der Ekliptik gelegenen Theil seiner Bahn heraufkommt. Der andere Durchschnittspunct ☋ heißt

der niedersteigende Knoten, weil der Planet beim Durchgang durch denselben aus dem oberhalb der Ebene der Ekliptik gelegenen Theil seiner Bahn herabkommt. Es versteht sich von selbst, daß die Knotenlinie stets durch die Sonne gehen muß. Man nennt nun den Winkel ☊SF oder den Bogen ☊F die Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn.

Was endlich das siebente Element betrifft, so sieht man leicht, daß die Neigung der Bahn durch die Größe des Winkels bestimmt wird, welchen die Ebene der Bahn mit der Ebene der Ekliptik bildet.

Noch ist zu erwähnen, daß erstens die Länge des Perihels und des aufsteigenden Knotens heliocentrische, d. i. von der Sonne aus gesehene Längen sind, und daß zweitens die Epoche und die Umlaufszeit die Grundlage der ganzen Planetentheorie in ihrer größten Einfachheit bilden. (Siehe umstehende Tabelle.)

Untere und obere Planeten. Elongation, Conjunction und Opposition.

17. Da Mercur der Sonne am nächsten ist, so umschließt die nicht eingreifende Bahn der Venus die Mercursbahn, gleichwie beide wieder von der Erdbahn eingeschlossen werden. Die Bahn des Mars dagegen umgibt auch die Erdbahn, und das Letztere gilt in Bezug auf alle noch weiter von der Sonne entfernten Planeten. Unter diesem Gesichtspunct betrachtet zerfallen sämmtliche Planeten unsers Systems in zwei Classen: in untere, deren Bahnen von der Erdbahn eingeschlossen sind, und in obere, deren Bahnen die Erdbahn einschließen. Da wir von der Erde aus, also von einem im Weltraume nicht ruhenden Standpuncte den Lauf der Planeten um die Sonne beobachten, so können wir nicht ihren wirklichen Lauf, welcher die heliocentrische Bewegung genannt wird, also auch nicht die wirklichen verschiedenen Stellungen der Planeten, sondern nur ihren scheinbaren Lauf, der die geocentrische Bewegung heißt, wahrnehmen. Die heliocentrische Bewegung und Stellung der Planeten kann aber von den Astronomen stets durch Rechnung aus der scheinbaren Bewegung und Stellung gefunden werden.

Unter Elongation (Digression, Ausweichung) der beiden unteren Planeten, Mercur und Venus, versteht man ihren scheinbaren größten

Bahnelemente der Planeten.

(Die halbe große Achse bei 14.)

	Planeten	Siderischer Umlauf	Mittlere Länge.	Excentricität	Länge des Perihels	Neigung	Länge des aufsteigend. Knotens
Innere Planeten.	Mercur	87,969	112° 5′ 4″	0,2056	74°20′ 5″	7° 0′ 15″	45°57′ 9″
	Venus	224,700	146°44′55″	0,0068	128°47′ 6″	3°23′ 28″	74°51′41″
	Erde	365,242	100°53′29″	0,0167	99°30′28″	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″
	Mars	686,929	233°32′50″	0,0932	332°22′51″	1°51′ 6″	47°59′38″
Kleine Planeten.	Flora	1194,05	50°32′50″	0,1555	33°19′26″	5° 53′	110°13′38″
	Victoria	1302,92	65°47′23″	0,2180	66°25′22″	8° 23′	235°29′49″
	Vesta	1308,33	84°47′ 3″	0,0885	249°11′37″	7° 8′	103°20′28″
	Iris	1302,48	337°10′52″	0,2066	45°10′ 9″	5° 28′	260°29′44″
	Metis	1344,45	144°48′ 3″	0,1159	70°12′24″	5° 36′	68°43′ 7″
	Hebe	1372,09	274°54′ 2″	0,1997	15° 3′38″	14° 47′	138°40′20″
	Parthenope	1395,3	289°43′26″	0,1018	312°25′50″	4° 37′	125°39′21″
	Asträa	1506,6	318°44′30″	0,1879	135°20′56″	5° 19′	141°28′21″
	Egeria	. . .	282°14′30″	0,7704	120°13′58″	16° 33′	43°13′50″
	Irene	1510,83	. . .	. .	. . .	9° 6′	. . .
	Eunomia	. . .	. . .	. .	. , .	11° 43′	. . .
	Juno	1593,06	74°39′43″	0,2555	54°17′12″	13° 3′	170°52′32″
	Ceres	1684,73	307° 3′25″	0,0767	147°41′23″	10° 37′	80°53′49″
	Pallas	1686,30	290°38′11″	0,2419	121°5′0,″5	34° 37′	172°38′29″
	Hygiea	2014,7	198° 7′35″	0,0939	226°39′53″	3° 47′	287°55′39″
	7 andere	. . .	. . .	. .	. . .	. . .	. . .
Aeußere Planet.	Jupiter	4332,596	81°54′48″	0,0481	11° 7′38″	1°18′ 51″	98°25′45″
	Saturn	10758,969	123° 6′29″	0,0561	89° 8′20″	2°29′35″	111°56′ 7″
	Uranus	30688,712	173°30′37″	0,0466	167°30′24″	0°46′28″	72°59′21″
	Neptun	60452,40	326° 2′1″,3	0,0050	0°12′25″	1°45′32″	129°51′13″

Abstand von der Sonne. Die Venus z. B. kann sich auf jeder Seite der Sonne scheinbar von derselben nicht weiter, als um den Bogen AS und MS, Fig. 2, Taf. VI, entfernen, sobald sich die Erde in E befindet. Dieser Abstand der Venus von der Sonne, der durch den Winkel AES oder MES gemessen wird, heißt die größte Elongation dieses Planeten, und zwar findet in A, wo die Venus links von der Sonne als Abendstern steht, die östliche, und

in M, wo sie rechts von der Sonne als Morgenstern steht, die westliche Ausweichung statt. Mercur entfernt sich nie über 27° 42′, Venus nie über 48° von der Sonne, oder soviel beträgt ihre größte Elongation. Mercur wird nie in voller Nacht, sondern nur in der Abend- und Morgendämmerung (und in den nördlicheren und südlicheren Gegenden der Erde nur mit Schwierigkeit) gesehen, aber in stark blitzendem Lichte. In der größten Elongation sind beide unteren Planeten halb erleuchtet, und zwar in größerer Entfernung mehr als halb, in größerer Nähe zur Erde weniger als halb. Venus kommt der Erde näher als irgend ein anderer Planet, denn sie kann sich uns bis auf 5¼ Millionen Meilen nähern, dagegen auch auf das Siebenfache der kleinsten Distanz, oder bis 36 Millionen Meilen entfernen. Sie ist der glänzendste Stern des Firmaments und kann 3 Stunden und länger vor Auf- und Untergang der Sonne gesehen werden. Sie ist also abwechselnd Morgen- und Abendstern wie Mercur, ja man nennt sie vorzugsweise so. Von den Astronomen wird sie gewöhnlich am Tage beobachtet, da sie Nachts zu tief steht, und wegen ihres lebhaften Glanzes in starken Fernröhren eines Blendglases bedarf. Der Moment ihres größten Glanzes tritt ein, wenn ihre Lichtgestalt sich bis zu ¼ vermindert, der Durchmesser bis 40″ vermehrt hat. Den Glanz und die Größe der Lichtgestalten oder Phasen der Venus zeigt Fig. 4, Taf. VI ohne weitere Erklärung deutlich genug. In a scheint sie im stärksten Glanze, 36 Tage vor und nach der Stellung b, und ist dann, freilich nur etwa alle 8 Jahre, sogar am Tage mit bloßen Augen sichtbar, wie 1852. In der Stellung b ist ihre Sichtbarkeit unterbrochen. Wie die Venus, zeigt auch Mercur zu- oder abnehmende Lichtgestalten. Von den oberen Planeten zeigt, mit Ausnahme des Mars, keiner wechselnde Lichtgestalten. Indeß kann auch für Mars kein vollständiger Cyklus von Phasen stattfinden, da in dem Dreiecke $^{S}_{E}{}^{M}$ die dem Mars gegenüber liegende Seite (Erde, Sonne) stets kleiner ist als die der Erde gegenüber liegende, folglich der Winkel am Mars stets ein spitzer ist. Mars erscheint also jedenfalls mehr als halb erleuchtet, und der unerleuchtete Theil ist im äußersten Fall von so geringer Breite, daß es überhaupt nur bei starken Vergrößerungen deutlich wird, daß ihm eine Sichel fehlt.

Wenn Mercur und Venus zwischen Sonne und Erde durchgehen, auch zugleich ersterer einem seiner Knoten näher als 3° 28′ steht, letztere weniger als 1° 49′ von einem ihrer Knoten entfernt ist, so erscheinen beide

Planeten als scharf begrenzte, pechschwarze Kreise auf der Sonnenscheibe, die sie von links nach rechts durchwandern. Diese interessante Erscheinung heißt der **Durchgang** eines dieser Planeten. Da die Grenze von 1° 49′ für die Venus beinahe um die Hälfte kürzer, als die für Mercur ist, so sieht man leicht, daß die Venus weit seltener, als Mercur durch die Sonnenscheibe geht; Perioden ihrer Durchgänge sind namentlich 7 Jahre 313 Tage und 113 Jahre 185 Tage. Die nächsten zu erwartenden Venusdurchgänge werden 1874 den 9. December, 1882 den 6. December, 2001 den 7. Juni und 2012 den 5. Juni stattfinden. Die Mercurdurchgänge kommen stets im Mai und November vor, in bestimmten Perioden von $2^1/_2$, $5^1/_2$, 6, 7, $9^1/_2$ und 13 Jahren, also auch von 20, 26, 46 und 263 Jahren, von welchen Perioden die letzte die genaueste ist. Die Lagen und Richtungen der 13 Mercurdurchgänge im gegenwärtigen Jahrhundert zeigt Fig. 5, Taf. VI.

Mercur oder Venus können auf ihrer Bahn um die Sonne zweimal mit der Erde in eine solche Stellung kommen, daß sich die Mittelpuncte beider Planeten mit dem der Sonne in derselben geraden Linie befinden. Es sei AOMuA, Fig. 2, Taf. VI, die Bahn z. B. der Venus, also der äußere Kreis die Erdbahn und S die Sonne. Steht die Venus, wenn sich die Erde in E befindet, zwischen derselben und der Sonne in u, so sagt man: Venus steht **in unterer Conjunction** (Zusammenkunft) **mit der Sonne** (♀ untere ☌☉). Sie ist zu dieser Zeit der Erde offenbar am nächsten, aber unsichtbar. Wenn ferner die Venus der in E befindlichen Erde gerade gegenüber hinter der Sonne in O steht, so befindet sie sich in **oberer Conjunction mit der Sonne** (♀ obere ☌☉); sie erscheint zu dieser Zeit am kleinsten, weil sie von uns am entferntesten ist. — Ein **oberer** Planet dagegen, Jupiter z. B., kann nur **einmal** in Conjunction mit der Sonne kommen. Es sei ACMOA, Fig. 3, Taf. VI, die Bahn des Jupiter, und der innere Kreis die Erdbahn. Steht Jupiter, wenn sich die Erde in E befindet, der Erde gerade gegenüber in C hinter der Sonne, so steht er in **Zusammenkunft** oder **Conjunction** (♃☌☉) mit der Sonne. Wenn aber Jupiter der Sonne gerade gegenüber in O hinter der Erde steht, so sagt man, er stehe in **Gegenschein** oder **Opposition** (♃☍☉) mit der Sonne; dann ist er der Erde am nächsten und erscheint am größten. Steht aber Jupiter in A oder in M und beträgt der Winkel AES oder der Winkel MES 90°, so steht Jupiter scheinbar um 90° von der Sonne ab. Ist er in A, so sagt man, Jupiter befinde sich im **östlichen Geviert**-

schein oder in östlicher Quadratur mit der Sonne (♃ östliche □ ☉), d. h. in der Abendquadratur, denn er steht dann links von der Sonne und culminirt Abends. Kommt Jupiter nach M, so steht er in westlicher Quadratur mit der Sonne (♃ westliche □ ☉), d. h. in der Morgenquadratur, denn er steht rechts von der Sonne und culminirt des Morgens.

Die Puncte der Conjunctionen und Oppositionen der Planeten sind für ihre Beobachtung von großem Nutzen. Denn da sich alle planetarische Bewegung auf die Sonne als Mittel- und Kraftpunct bezieht, so müßte man, um das eigentliche Gesetz dieser Bewegung so recht unmittelbar zu finden, die Planetenörter (ihre Längen) kennen, wie sie unmittelbar aus der Sonne selbst (heliocentrisch) beobachtet würden. Gerade dies gewähren aber die Conjunctionen und Oppositionen, da sich Erde, Sonne und Planet dann in derselben geraden Linie befinden, und der Planetenort, aus der Sonne und der Erde gesehen, schlechterdings derselbe ist. Dies gilt für die oberen und unteren Conjunctionen, wie für die Oppositionen; da aber der untere Planet in der unteren Conjunction, und der obere Planet in der Opposition der Erde viel näher und also zur Beobachtung viel geschickter ist; so zieht natürlich der Astronom die untere Conjunction der unteren Planeten den oberen Conjunctionen derselben, und die Oppositionen der oberen Planeten ihren Conjunctionen vor. Sie dienen ihm zur Bestimmung der Umlaufszeit, womit sich dann noch bei den beiden unteren Planeten von Zeit zu Zeit ihre Durchgänge durch die Sonnenscheibe verbinden, aus denen sich die Dauer ihrer Umläufe aufs Genaueste bestimmen läßt, ebenso wie sie auch benutzt werden zur Bestimmung der Sonnenparallaxe.

Speciellere Betrachtung einzelner Planeten*).

18. Mercur. Die Neigung seines Aequators ist unbekannt und seine Rotation wird zu 24 Stunden 5 Minuten gesetzt. Seine Masse ist etwa $^1/_{4800000}$ der Sonnenmasse, der Durchmesser 671 Meilen und die Umlaufszeit, nach Erdentagen berechnet, 87 Tage, 23 Stunden 15′ 46″.

---

*) Ich bin in diesem Abschnitt hauptsächlich den astronomischen Briefen Mädler's gefolgt.

Er ist im Verhältniß 6 : 5 dichter als die Erde, überhaupt der dichteste aller Planeten. Ein Pfund hat auf ihm nur das Gewicht von $15^1/_2$ Loth, und der Fall der Körper in der ersten Secunde ist $7^1/_4$ Fuß. — Wegen der großen Excentricität seiner Bahn theilt sich sein aus $86^2/_3$ Sonnentagen (die Zeit von einem Mittag zum andern) bestehendes Jahr in Jahreszeiten von sehr ungleicher Länge; weil aber die Richtung seiner Achse noch nicht bekannt ist, ist es unmöglich, sie einzeln anzugeben. Mercur erblickt die Sonne in der mittleren Entfernung $6^2/_3$mal, in der größten Nähe $10^2/_3$ mal, und in der größten Entfernung $4^1/_2$mal größer, als wir auf der Erde. Seine Tage sind daher, ganz abgesehen von den Jahreszeiten, sehr ungleich erhellt; im Aphelio ist das Licht der Sonne auf ihm fast 5mal, im Perihel fast 11mal heller, als bei uns. Ob er auch in demselben Verhältniß stärker erwärmt werde, läßt sich deswegen nicht mit Gewißheit bestimmen, weil es uns unbekannt ist, ob seine Fähigkeit erwärmt zu werden (seine specifische Wärme) durchschnittlich dieselbe ist, wie bei der Erde; wogegen wir, da die Erleuchtung nur von der Quantität der Lichtstrahlen abhängt und diese sich genau umgekehrt wie das Quadrat der Distanz verhält, das angegebene Verhältniß als ein zuverlässiges betrachten können. Indeß bemerkt man, daß Mercur stets etwas weniger erleuchtet erscheint, als die Rechnung ergibt, und dies führt auf die Vermuthung, daß er entweder eine strahlenbrechende Atmosphäre oder Gebirge habe, am wahrscheinlichsten beides. — Verfinsterungen kennt er nicht; kein uns bekannter Planet kann für ihn durch die Sonne gehen, sie kommen vielmehr sämmtlich in Opposition. Venus sieht er zwar nur wenig größer als wir, aber ganz ungleich glänzender, so daß sie hinreichen muß, einer Landschaft Licht und Schatten zu geben. Auch die Erde erscheint ihm groß und glänzend, sowie auch ihr Mond; alle übrigen Planeten, und ganz besonders Mars, dagegen schwächer als bei uns.

Venus. Ihre Rotation ist 23 Stunden 21 Minuten, die Lage ihrer Achse noch unbekannt, der Durchmesser 1694 Meilen, die Masse $^1/_{401800}$; endlich die Umlaufszeit 224 Tage 16 Stunden 49′ 7″ Erdenzeit. Ein Pfund auf der Erde wiegt dort $28^1/_2$ Loth. Nur Mercur geht ihr, aber ungleich häufiger als für uns, durch die Sonne. Die Erde ist bei weitem der glänzendste Stern am nächtlichen Venushimmel und ihr Glanz in den Oppositionen ist etwa 6—8mal stärker als der, welchen Venus für uns erreichen kann; selbst der Erdmond überglänzt noch den Mars. Von keinem Hauptplaneten aus wird die Erde so groß und glänzend

wahrgenommen, als von der Venus. Mercur durchläuft dort alle Phasengestalten. Der Unterschied in der Stärke der Erleuchtung der Tage ist gering.

Obgleich die Venusoberfläche seit der Mitte des siebenzehnten Jahrhunderts von vielen Astronomen beobachtet worden ist, so wissen wir von ihr doch weit weniger, als von der des Mars oder Jupiter, weil die große Lebhaftigkeit ihres Glanzes die Beobachtungen erschwert. Nur unter den günstigsten, selten eintretenden Umständen haben einige Beobachter Flecke gesehen, die jedoch nie scharf begrenzt, sondern höchst verwaschen, von unbestimmter Gestalt und äußerst matt sich zeigten. Cassini und de Vico in Rom bestimmten daraus die Rotation. Dagegen scheint ein anderes Phänomen etwas weniger selten zu sein. Man hat wahrgenommen, daß zu der Zeit, wo Venus sichelförmig erleuchtet erscheint, theils beide Hornspitzen, theils nur eine derselben (gewöhnlich die südliche) Unregelmäßigkeiten der Bildung zeigte. Diese bestehen in einer abwechselnd größeren Zuspitzung oder Abstumpfung, in einer unregelmäßigen Krümmung nach innen, ja in einzelnen Fällen sogar in sternartigen, abgetrennten Puncten. Zuweilen sind 5 — 10 Minuten schon hinreichend, um eine Veränderung in diesen Erscheinungen hervorzubringen; auch kehren die gleichen Erscheinungen eine kurze Zeit hindurch periodisch wieder, und die hieraus abgeleitete Periode stimmt nahezu mit der zusammen, welche man aus den Fleckenbeobachtungen gefunden hat. Auch ist die innere, elliptische Lichtgrenze zuweilen nicht als scharfe gleichmäßige Curve, sondern mehr oder minder ausgezackt erschienen. Räthselhaft aber dürfte der Umstand sein, daß man einige Male den unerleuchteten Theil der Venus in einem aschfarbenen Lichte, ähnlich dem bekannten Erdlichte auf der unerleuchteten Mondscheibe, beobachtet hat. — Auf das Mitgetheilte beschränkt sich im Wesentlichen, was die Beobachtungen von der Venusoberfläche zeigen, und diese Thatsachen erklärt man sich auf folgende Weise. Die matten, gleich einem leisen Hauche erscheinenden Flecke führten die beiden Herschel, Vater und Sohn, auf die Vermuthung, daß sie nicht der festen Oberfläche des Planeten, sondern wahrscheinlicher einer Venusatmosphäre angehören. Auf eine solche führt auch der Umstand, daß der erleuchtete Theil der Venus sich, wie der des Mercur, etwas kleiner zeigt, als die Rechnung für eine mathematische Kugel und geradlinige Lichtstrahlen ergibt. Mädler hält die Venus von einer starken und wenig durchsichtigen Atmosphäre umgeben,

so daß wir in der Regel nicht die Oberfläche des Venuskörpers selbst, sondern die seiner fast permanenten Wolkendecke vor uns sehen, die nur eine unvollkommene Durchsichtigkeit gestattet. Die unregelmäßigen Krümmungen der Hornspitze, die abgetrennten Lichtpuncte und die zackigen Lichtgrenzen erklären sich am leichtesten und sichersten durch die Annahme beträchtlicher gebirgiger Ungleichheiten, die bedeutend sein müssen, da sie in so großer Entfernung noch ihr Dasein verrathen. Schwieriger ist die Erklärung des aschfarbenen Lichtes auf der Venus-Nachtseite. Diese Erleuchtung kann von keinem Monde herrühren, da Venus mondlos ist. Da das Phänomen an große Perioden von etwa 46 Jahren geknüpft zu sein scheint, so kann es auch nicht das reflectirte Licht von den beiden auf der Venus hellstrahlenden Planeten Mercur und Erde sein, und es scheint also nichts übrig zu bleiben, als die Annahme eines eigenthümlichen Leuchtens der Oberfläche oder einer dem Nordlicht der Erde verwandten Erscheinung, die in seltenen Fällen einen so hohen Grad von Intensität erlangt, daß das ausstrahlende Licht uns noch sichtbar wird.

Mars. Die Rotationsperiode ist 24 Stunden 37′ 22″; die Neigung des Aequators gegen die Bahn 28° 42′, der Durchmesser 892 Meilen, Masse $1/_{2680000}$ und die Umlaufszeit 668 Tage 23 Stunden 30′ 41″. Sein aus $668\,^2/_3$ Sonnentagen bestehendes Jahr theilt sich gegenwärtig in folgende Jahreszeiten:

Nordhalbkugel.			Südhalbkugel.
Frühling	$191\,^1/_3$	Tage	Herbst
Sommer	181	„	Winter
Herbst	$149\,^1/_3$	„	Frühling
Winter	147	„	Sommer.

Zu dieser Ungleichheit der Jahreszeiten gesellt sich eine sie in gewisser Beziehung compensirende Ungleichheit in der Intensität des Sonnenlichtes, welche im nördlichen Sommer sich zu der im südlichen verhält wie 20 : 29. Hieraus folgt für die nördliche Halbkugel ein längerer, aber wenig intensiver Sommer, und ein kurzer milder Winter, für die Südhalbkugel dagegen ein kurzer heißer Sommer und ein langer strenger Winter. Bei Mars darf nämlich angenommen werden, daß die Temperatur von der Sonne abhängig ist, weil die Beobachtungen der weißen Flecke an seinen Polen, die man für Schnee zu halten Ursache hat, den hier angegebenen Verhältnissen der Jahreszeiten gut entsprechende Veränderungen dargethan haben. Fast die Hälfte

der Marsoberfläche (0,48) gehört der heißen Zone; der Flächeninhalt beider gemäßigten ist 0,40 und der der kalten 0,12. — Für Mars können Mercur, Venus und die Erde mit ihrem Monde durch die Sonne gehen, doch sind wegen des kleineren Durchmessers der Sonne diese Vorgänge im Ganzen etwas seltener als bei uns, und aus eben dem Grunde ist die Erleuchtung und solare Erwärmung auf dem Mars in der Sonnennähe nur 0,52 und in der Sonnenferne 0,36 (die der Erde = 1 gesetzt). Die Erde ist dem Mars, was Venus der Erde ist, der glänzendste Stern des Firmaments, doch nur etwa halb so glänzend, als Venus uns. — Die Schwere, der Fall der Körper u. s. w. sind auf dem Mars fast genau halb so groß, als auf der Erde.

Obgleich nun Mars fast dreimal kleiner im Durchmesser erscheint, als Venus, so kennen wir ihn in physischer Beziehung doch besser, als jene. Die Analogien, welche er mit der Erde darbietet, sind meist meteorologischer Art. Seine Oberfläche erscheint uns in einem röthlich dunkelgelben Lichte, ist aber im Fernrohr oft so mit Flecken verschiedener Farbe und Intensität angefüllt, daß eine allgemeine Grundfarbe schwer unterscheidbar ist. Die am bestimmtesten begrenzte Form zeigen die beiden glänzend weißen Polarflecke. Gewöhnlich sieht man nur einen von beiden, auch wohl keinen; im ersteren Falle ist einer der beiden Pole von uns abgewandt, im letzteren mögen beide genau im Rande liegen. Die Veränderungen in der Ausdehnung dieser Flecke scheinen genau mit den Marsjahreszeiten zusammenzuhängen. Etwa dreißig Tage nach dem Zeitpuncte, wo die betreffende Halbkugel ihren Sommer hat, ist der Fleck am kleinsten. Der nördliche Polarfleck bleibt, auch wenn er am kleinsten ist, größer als der südliche, scheint sich aber auch nicht so weit auszudehnen. Das blendende Weiß dieser Flecke ist an heiteren Abenden oft sehr auffallend. Eine Wolke verdeckte 1837 Mädler'n während der Beobachtung plötzlich den Mars, so daß ihm die Scheibe spurlos verschwand, der weiße Fleck aber Licht genug hatte, um noch eine Zeit lang durch die Wolke im Fernrohr gesehen zu werden. Das Thatsächliche dieser Beobachtungen ist also, daß eine glänzend weiße Masse sich bei abnehmender Jahreszeit als eine allgemeine Decke über die polaren Gegenden der Marsoberfläche verbreitet und eine sehr bedeutende Ausdehnung erreicht (bis gegen den 55° südl. Breite), bei zunehmender Jahreszeit aber sich vermindert und bis auf einen kleinen Raum (etwa 3—4 Grade vom Pole aus sich erstreckend) völlig verschwindet, welches Minimum etwa 30 Tage nach dem

höchsten Sonnenstande eintritt. Diese auf eine wahrhaft überraschende Weise mit dem Jahreszeitverhältniß übereinstimmende Thatsache erklärt man wohl mit Recht durch Schneezonen, indem man in diesen glänzend weißen Flecken einen Winterniederschlag erblickt, dessen Farbe am natürlichsten auf Schnee führt. Der Mars hat also seine Jahreszeiten, wie unsere Erde, ist wie diese von einer Atmosphäre umgeben, in welcher sich Niederschläge bilden, ähnlich denen auf unserm Planeten. — Der übrige Theil der Kugel, die zuweilen mit Schnee bedeckten Striche nicht ausgenommen, ist mit schwärzlichen Flecken besetzt, von denen wenigstens die größeren ihre Gestalt und relative Lage constant beibehalten. In der Sommerhalbkugel und in den Aequatorgegenden zeigen sich diese schwarzen Flecke stets deutlicher und bestimmter, dagegen unbestimmter, blasser, verwaschener in derjenigen Halbkugel, die ihren Winter hat. An Bergschatten ist dabei, wie man gemeint hat, nicht zu denken, da selbst in der größten Erdnähe des Mars eine Bogensecunde gegen 40 Meilen umfaßt; weit wahrscheinlicher ist die Vermuthung, daß das Dunkle und Helle auf dem Mars sich auf den Gegensatz zwischen Oceanen und Continenten beziehe; denn wo sich eine Atmosphäre befindet und Schnee niederschlägt, wird es auch an Wasser nicht fehlen, welches jene mit Dünsten erfüllt. — Außer jenen schwärzlichen Flecken wird nicht selten auf der Marsfläche ein mehr oder minder verbreiteter röthlicher Schimmer bemerkt, während zu anderen Zeiten keine Spur davon gesehen wird. Mädler erklärt dieses Roth durch die Brechung der Sonnenstrahlen in der Marsatmosphäre und stellt es mit dem Morgen- und Abendroth unserer Erde in eine Kategorie.

Die kleinen Planeten. Mit ihnen beginnt eine neue Reihe von Weltkörpern, deren nähere Beschaffenheit wir zwar sehr wenig kennen, die aber in jedem Betracht, wie schon aus der Gestaltung ihrer Bahnen hervorgeht, sich von den vorhergehenden wesentlich unterscheiden. Soviel man von ihren Durchmessern weiß, sind sie dem Volumen nach 2000 bis 10000 mal kleiner, als unsere Erde, und man begreift daher leicht, daß wir von ihrer Rotationszeit, der Lage ihrer Achse u. dgl. nichts wissen können. Dagegen sind die Elemente ihrer Bahn bekannt, welche starken Veränderungen unterworfen sind. Ganz abgesehen von der Neigung ihrer Bahnen, müssen die bedeutenden Excentricitäten derselben allein schon sehr merkliche Verschiedenheiten der Jahreszeiten auf ihnen bewirken. An ihrem nächtlichen Himmel ist Jupiter bei weitem das glänzendste Gestirn, Saturn und Uranus steht

man auf ihnen nur wenig besser, als bei uns, Venus und Mercur wahrscheinlich gar nicht mehr. Durchgänge von Mercur, Venus, Erde und Mars sind für sie selten. Die Schwere auf diesen Körpern muß überaus gering sein. Wird ihre Dichtigkeit gleich der Erde gesetzt, so würden ihre Fallhöhen sich wie die Durchmesser verhalten, und für Pallas 15 Zoll, für Juno $8^1/_2$ Zoll, für Vesta $6^1/_4$ Zoll in der Secunde betragen. Eine solche Fallbewegung gliche bei uns einem allmäligen Herabschweben, gefahrlos für einen Sprung von dem höchsten unserer Thürme herab. Das Gewicht eines Pfundes würde sich auf 2 bis 1 Loth vermindern, und die Körperkraft eines Erdbewohners würde dort die unglaublichsten Dinge ausführen können. — Einige dieser kleinen Planeten sollen einen Lichtwechsel zeigen, den Mädler dadurch erklärt, daß eine Seite derselben in weit größerem Maße, als die andere mit dunkeln Flecken besetzt ist.

Jupiter, wegen seiner erstaunlichen Größe der zweite Körper in unserem Sonnensystem, macht seine Wirkung auf alle Körper desselben in merklicher Weise geltend; ja er vermag es, Cometen gänzlich aus ihrer Bahn zu werfen und ihnen einen gänzlich verschiedenen Lauf zu ertheilen. Er spielt daher nächst der Sonne die wichtigste Rolle in unserem System und würde sein Zentralkörper werden, wenn die Sonne verschwände. Seine Rotation dauert 9 St. 55 Min. 26″,56, die Neigung des Aequators gegen die Bahn ist 3° 6′, Durchmesser des Aequators 20018 Meilen, Polardurchmesser 18524 Meilen, und die Masse ist $^1/_{1047}$ der Sonnenmasse. Die Excentricität seiner Bahn ist nur mäßig, ebenso ihre Neigung gegen die Erdbahn. Sein aus 10477 Sonnentagen bestehendes Jahr theilt sich nur in wenig unterschiedene Jahreszeiten, unbedeutend ist die Verschiedenheit der Tageslängen, und Ekliptik und Aequator sind für ihn wenig verschieden, alles dieses wegen der geringen Neigung seiner Achse. Die Sonne erscheint ihm unter einem Winkel von 6′ 28″ bis 5′ 52″, und die Stärke seiner Erleuchtung u. s. w. ist $24^1/_2 — 29^1/_2$ mal schwächer als die der Erde, und etwa so stark, wie sie bei ringförmigen Sonnenfinsternissen durchschnittlich angenommen werden kann. Die Gestirne bewegen sich auf Jupiter, wegen seiner kurzen Rotationsperiode, $2^1/_2$ mal rascher als bei uns. Nur den Saturn sieht er erheblich besser als irgend einen anderen Planeten, von den übrigen insgesammt sehr wenig, wohl kaum noch unsere Erde. Eine herrliche Zierde seines nächtlichen Himmels sind seine 4 Monde, von denen der erste ihm etwas größer als uns unser Mond, der äußerste fast 4mal kleiner

im Durchmesser erscheint. Es können zuweilen alle vier über dem Horizont eines gegebenen Ortes erscheinen, weit häufiger jedoch tritt der entgegengesetzte Fall ein, weil sie wegen ihrer großen Nähe nie der halben Jupiterskugel sichtbar sind. Diese nicht unbedeutende Verminderung des Mondscheins wird desto merklicher, je weiter man sich vom Aequator entfernt, und hierzu kommen noch die Finsternisse, die dem Jupiter regelmäßig den besten Theil des Mondscheins, nämlich alle Vollmonde der drei inneren und die meisten des äußeren Mondes rauben. Ueberdies leuchtet verhältnißmäßig dem Jupiter der erste Mond etwa so stark als uns unser Mond, der zweite $^1/_3$, der dritte $^1/_5$, der vierte $^1/_{15}$. Mondfinsternisse, welche 2 — 3 Stunden dauern, erblickt Jupiter während eines seiner Jahre 4400, denn die Verfinsterungen des ersten Mondes z. B. treten alle $42^1/_2$ Stunden ein. Wir fügen noch folgende Tabelle für die Jupitersmonde bei:

	Durchmesser in Meilen.	Abstand vom Jupiter.	Umlaufszeit.	Masse in Milliontheilchen des Jupiter.
1.	529 . . .	58294 .	1 T. 18 St. 28′ .	17,3
2.	475 . . .	92827 .	3 T. 13 St. 14′ .	23,2
3.	776 . . .	148078 .	7 T. 3 St. 43′ .	88,5
4.	664 . . .	260450 .	16 T. 16 St. 32′ .	42,7

Jupiters mittlere Dichtigkeit ist 0,24 der Dichtigkeit unserer Erde, seine wahre Dichtigkeit muß aber nach der Mitte hin zunehmen. Hat die Oberflächengegend Jupiters dasselbe Verhältniß zur Gesammtdichtigkeit, wie bei unserer Erde, so ist sie nur etwa $^7/_{10}$ unsers Wassers, folglich nicht fähig, oceanischen Gewässern das Gleichgewicht zu halten. Gleichwohl findet auf dieser so lockern Oberfläche eine beträchtliche Schwere statt, fast $2^1/_2$ so groß, als bei uns. Die Fallhöhe in der ersten Secunde ist am Aequator 33, an den Polen 41 Fuß; ein Pfund auf der Erde wiegt an den Jupiterspolen $2^2/_3$, am Aequator $2^1/_4$ Pfund.

Da Jupiter sich unter einem beträchtlichen Durchmesser darstellt, so sind Beobachtungen seiner Oberfläche ziemlich leicht von Astronomen anzustellen. Auf ihrem gelblichen Grunde ziehen graue oder braungraue Streifen hin, welche im Allgemeinen dem Aequator des Planeten parallel laufen. Am gewöhnlichsten sieht man zwei dieser Streifen, zwischen denen der Aequator in einer schmalen hellen Zone liegt, und diese Streifen ziehen sich um die ganze Kugel herum. Sind weiter nach Norden oder Süden mehrere vorhanden, so sind sie stets weit matter und schmaler, scheinen auch nicht um die ganze Kugel herumzugehen. Nach den Polen zu geht das

Gelb der Kugel in ein mattes bleifarbiges Grau über, in welchem auch noch zuweilen Streifen hervorzublicken scheinen. Die Ränder der Hauptstreifen in der Mitte sind zuweilen scharf, zuweilen sehr uneben, mit Einbuchten und Vorsprüngen. Außer diesen Streifen bemerkt man noch Flecke von größerer Schwärze als die Streifen; sie dienen zur Bestimmung der Rotation des Jupiter, obschon sie nicht bis zum Rande der Kugel mit Sicherheit verfolgt werden können. Es ist etwas sehr Gewöhnliches, daß alle diese Flecke in kurzer Zeit sich vergrößern und verkleinern, überhaupt haben alle Beobachter im Laufe der Zeit bedeutende Veränderungen auf Jupiters Oberfläche bemerkt. — Nach allen diesen Beobachtungen ist es sehr wahrscheinlich, daß Jupiter von einer Atmosphäre umgeben ist, welche durch etwas unseren Wolkenschichten Analoges verdichtet ist, die indeß von den unsrigen bedeutend verschieden sind. Denn sie sind bei weitem weniger veränderlich, indem sie selbst Jahre hindurch stehen bleiben; sie sind ferner rücksichtlich ihrer Streichung an eine und dieselbe sich stets parallele Richtung gebunden; endlich sind sie in den Aequatorregionen extensiv und intensiv stärker als in den übrigen Regionen. Arago nimmt (nach A. v. Humboldt) an, daß die über dem Aequator ruhende Region, wahrscheinlich in Folge von dort herrschenden Passatwinden, dunstleer und diaphan sei. Weil die Wolkenoberfläche ein intensiveres Licht reflectirt, als die Oberfläche des Planeten, so muß der Theil des Bodens, welchen wir durch die heitere (diaphane) Luft sehen, minderes Licht haben, also dunkler erscheinen, als die vieles Licht zurückstrahlenden Wolkenschichten. Deshalb wechseln graue und helle Streifen mit einander; die ersteren erscheinen, wenn unter kleinen Winkeln der Visionsradius des Beobachters schief gegen den Rand des Jupiter gerichtet ist, durch eine größere, dickere Masse und mehr Licht reflectirende Luftschichten gesehen, um so weniger dunkel gefärbt, als sie sich vom Centrum des Planeten entfernen. Woher aber diese Wolkenschichten kommen, ohne einen Wasserocean, der dem Jupiter fehlt, ist schwer zu sagen, sie müßten denn von einer specifisch leichteren Flüssigkeit herrühren. Man wird überhaupt nicht wohl ins Einzelne gehende Vergleichungen zwischen Erde und Jupiter anstellen können. Mögen immerhin die Bestandtheile seiner Oberfläche einen höheren Grad von Empfänglichkeit für die Sonnenwärme besitzen, so wird dennoch eine 27 mal schwächere Insolation, die überdies statt 12 Stunden nicht ganz 5 hindurch wirken kann, unter keinen Umständen etwas erzeugen können, gleich dem, was unsere Erde bietet. — Die Jupitersflecke sind kleinen mit

einem Hofe umgebenen Kernflecken der Sonne ähnlich. Man hält daher ihren Kern für einen Theil des Planetenkörpers selbst, und wenn die atmosphärische Oeffnung über demselben Puncte stehen bleibt, so gibt die Bewegung des Fleckes die wahre Rotation. — Da Jupiters Scheibe, dem scheinbaren Flächeninhalt nach, uns nur 4 mal größer erscheint als die des Mars in der größten Erdnähe, so würde folgen, daß Mars alsdann heller glänzen müsse, als Jupiter, wenn bei beiden das zurückgeworfene Licht in gleichem Verhältnisse zum empfangenen steht. Allein gerade umgekehrt erscheint Jupiter beträchtlich heller als Mars, und dies scheint wieder auf Rechnung der vieles Licht reflectirenden Wolkenschichten seiner Atmosphäre gesetzt werden zu müssen.

Saturn, wegen seines räthselhaften Ringsystems der merkwürdigste unter allen Planeten. Seine Rotation dauert 10 St. 29 Min., die Neigung seiner Achse beträgt 26° 49′ 17″, der Aequatoreal-Durchmesser 16305 Meilen, der Polardurchmesser 14696 Meilen, so daß er, wie Jupiter, stark unter den Polen abgeplattet ist. Seine Masse ist $^1/_{3501}$ der Sonnenmasse. Sein Jahr ist 10759 Erdentagen, oder 24620 Saturnstagen gleich; oder es bestände aus so vielen, wenn Saturn keinen Ring hätte. Denn es gehen in den polaren Regionen durch die lange Nacht, und in allen übrigen durch die großen Finsternisse, welche der Ring veranlaßt, mehrere tausend Tage verloren, wie denn Saturn, der Zeit nach, unter allen Planeten am wenigsten von der Sonne beleuchtet wird. Sein aus 29,45 Erdjahren bestehendes Jahr theilt sich für die Nord- und Südhälfte in folgender Weise in die 4 Jahreszeiten: 7,74 Erdjahre Frühling und Herbst, 8,01 Erdjahre Sommer und Winter, 6,94 Erdjahre Herbst und Frühling, 6,76 Erdjahre Winter und Sommer. Die Stärke der Erleuchtung ist 81 — 101 mal schwächer, als auf der Erde, und mag etwa dem Schimmer gleichen, den wir eine Viertelstunde nach Sonnenuntergang haben. Die Größe der Sonne variirt zwischen $3^1/_2$ und $3^1/_6$ Minuten. Jupiter ist sein Morgen- und Abendstern und erscheint ihm nicht so glänzend als uns. Die tägliche Bewegung der Gestirne am Himmel ist ziemlich so rasch wie auf Jupiter; allein für jede gegebene Breite sind eine gewisse Zahl von Fixsternen durch den Ring verdeckt. Nur in den polaren Regionen, wo der Ring gar nicht mehr gesehen wird, ist das Firmament frei wie bei uns. Seinen nächtlichen Himmel zieren 8 Trabanten, die wahrscheinlich alle kleiner sind, als unser Mond. Mondfinsternisse sind hier noch häufiger als bei Jupiter.

Das den Saturn umgebende Ringsystem veranlaßt diesem Planeten eigenthümliche Erscheinungen. Es theilt sich nach den neuesten Beobachtungen in drei concentrische, frei schwebende, fast in derselben Ebene liegende, durch schmale Lücken getrennte Ringe von ansehnlicher Breite und geringer Dicke, welche die Mitte der Kugel umgeben. Sie haben eine größere Intensität des Lichtes als Saturn selbst; von ihnen ist der äußere Ring heller, als der mittlere, und der innere, zwischen dem zweiten und dem Planeten, ist schieferfarbig und durch eine schwarze Linie vom zweiten getrennt. Die Entfernung des inneren Ringes von der Oberfläche des Planeten schätzt man zu 5000 Meilen und die Dicke des Ringes zu 20 Meilen. Der Durchmesser des ganzen Systems beträgt 37587 geogr. Meilen und die Breite aller drei Ringe, mit Inbegriff der Zwischenräume, 6047. Sie bieten der Beobachtung einzelne Erhöhungen und Ungleichheiten dar, mittelst welcher man annäherungsweise ihre Umdrehungszeit, welche der des Planeten vollkommen gleich ist, hat beobachten können. Saturn liegt im Ringe etwas westlich, so daß dieser den Planeten nicht concentrisch umschließt. Bei der so überaus geringen und nach der Oberfläche abnehmenden Dichtigkeit des Saturn (vielleicht kaum $^3/_5$ der Dichtigkeit des Wassers) ist es schwer, sich eine Vorstellung von der materiellen Beschaffenheit des Ringes zu machen. Diese Ringe haben nun für jeden Ort der Saturnskugel eine bestimmte und bleibende Lage am Himmel, wo sie als große Bögen erscheinen. Am Aequator ziehen sie von Ost nach West durch's Zenith; aber hier sieht man nur die schmale Kante des innersten Ringes. In anderen Gegenden zeigen sich die Ringe weniger optisch verkürzt, dafür aber tiefer am Horizont und auch nicht mehr dessen Hälfte umspannend. Unter $37^1/_2{}^0$ der Breite erscheint das Ringsystem am breitesten, und nimmt $15^1/_2$ Grad von Nord nach Süd am Himmel ein; unter 53⁰ 28′ erhebt sich der innerste Rand des inneren Ringes nicht mehr über den Horizont, und wo auf der Erde die Polarkreise liegen, sieht man auf Saturn von den Ringen gar nichts mehr. Im Sommerhalbjahre jeder Hemisphäre sind die Ringe am Tage erleuchtet, des Nachts aber in ihrem mittleren Theile vom Saturnsschatten verdunkelt, der seine Lage im Laufe jeder Nacht verändert. Im Winterhalbjahr dagegen findet gar keine nächtliche Erleuchtung durch den Ring statt, wie im Sommer, sondern er ist auch am Tage dunkel, da man nur seine Nachtseite sieht; ja er veranlaßt große, mehrere Erdjahre hindurch dauernde Finsternisse, während welcher Zeit die schwärzeste Nachtdunkelheit

herrscht, wie die scharfen schwarzen Schatten desselben auf der Saturnskugel, die man von der Erde aus deutlich sieht, beweisen. Für eine Breite, die der unserer Wendekreise entspricht, tritt die erste große Finsterniß 810 Erdentage nach der Herbstnachtgleiche ein; an 52 Tagen scheint sodann die Sonne noch durch die breite Hauptspalte und man hat wieder regelmäßigen Wechsel von Tag und Nacht. Nun aber folgt eine durch den innersten Ring veranlaßte ununterbrochene Finsterniß von 9 Erdjahren (3261 Tage). Ist diese ungeheuere Nacht vorüber, so wiederholt sich das Obige in umgekehrter Ordnung. In der Aequatorzone treten 4 Ringfinsternisse ein, zusammen von etwas kürzerer Dauer. Jenseits des 57° Br. finden nur noch zwei Finsternisse statt; endlich nur noch eine, die in die Mitte des Winters fällt, und jenseits 66° 36′ sind die Ringe nicht mehr sichtbar, bringen also keine Finsternisse mehr. Rechnet man nun zu den Ringfinsternissen noch diejenigen durch die Monde hinzu, so muß man vermuthen, daß für die Organismen dieses Weltkörpers das Licht kein so nothwendiges Requisit sei, wie für die der Erde; denn für das schwache oder mangelnde Sonnenlicht geben ihnen der Ring und die Monde keinen Ersatz, und können ihnen keinen geben, da sie selber nur schwach von der Sonne beleuchtet werden. „Den überraschendsten, großartigsten Anblick,“ sagt Mädler, „müßte uns ein Standpunct auf der inneren Kante des inneren Ringes gewähren. Man denke sich im Zenith eine enorme Kugel, die den achten Theil der Fläche des ganzen Himmelsgewölbes einnimmt und unsere Sonne an scheinbarer Größe 22000 mal übertrifft. Die Durchmesser sind 82° in der Richtung des Aequators und 73° in der Polarrichtung. Einen eigentlichen Horizont hat ein solcher Beschauer nicht ringsherum, sondern nur nach zwei Richtungen hin, nämlich nach Süd und Nord; nach Ost und West dagegen breitet sich der Boden, auf dem er steht, unbegrenzt aus und zum Himmelsgewölbe empor. Diese beiden Bögen verlieren sich in ungeheurer Höhe und schließen hinter der Riesenkugel zusammen — ein Himmel mit Landschaften in ununterbrochener Fortsetzung des tragenden Bodens und den eigentlichen gestirnten Himmel in zwei gesonderte Stücke theilend. Zwei Stücke dieses Riesengewölbes, die ihren Ort schnell verändern, leuchten wie Sonnenschein, für den übrigen Theil wechseln Saturnusschein, Dämmerung und volle Nacht mit einander ab. Nirgends, weder auf der Erde noch in der gesammten Planetenwelt, gibt es ein Panorama, wie dieses.“

Der Fall der Körper ist am Pol des Saturn 20 Fuß, am Aequator

12 Fuß in der Secunde; eines unserer Pfunde wiegt dort von 42—25 Loth. In mittleren Breiten ist die Schwere der auf der Erdoberfläche nahezu gleich. Daß die Abplattung beim Saturn noch stärker ist, als bei Jupiter, muß befremden, da die Ursache derselben, die Rotation geringer ist, als bei Jupiter. Denn die Schwungkraft des Saturnsäquatorumfangs kann darum nicht so groß sein, weil seine Rotationszeit länger und sein Aequatorumfang kleiner ist, als bei Jupiter. Aber bei Saturn gesellt sich zu der allgemeinen Ursache noch eine besondere. Diese ist die den ganzen Aequator umgebende Attraction des Ringes, die denselben weit mehr emportreiben mußte, als die Schwungkraft allein dieses hätte bewirken können. Da nun auf den verschiedenen Puncten eines Weltkörpers die Schwere sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen vom Mittelpuncte verhält, so hat eben die größere Abplattung des Saturn die Folge, daß der Unterschied der Schwere am Pol und Aequator, ungeachtet der geringeren Schwungkraft, bedeutend größer ist, als auf dem Jupiter.

Dies sind die mathematischen Verhältnisse dieses durch Reichthum und Mannigfaltigkeit seines Systems merkwürdigsten Planeten. In physischer Beziehung möge hier noch Folgendes erwähnt werden. Er erscheint uns in einem trüben, röthlich-gelben Lichte, und sein Körper zeigt ebenfalls bandartige Streifen, die aber weniger sichtbar sind, als bei Jupiter. Der constanteste derselben ist ein grauer Aequatorealstreifen, auf welchen mehrere andere mit wechselnden Formen folgen, was auf einen atmosphärischen Ursprung deutet. Die Gegend um die Pole zeigt einen Wechsel in der Lichtreflexion, welcher von den Jahreszeiten auf Saturn abhängig ist. Die Polarregion wird nämlich im Winter heller leuchtend, eine Erscheinung, welche an die wechselnde Schneeregion des Mars erinnert. Sei nun eine solche Zunahme der Lichtintensität der temporären Entstehung von Eis und Schnee, oder einer außerordentlichen Anhäufung von Wolken zuzuschreiben, — immer deutet sie auf Wirkungen von Temperaturveränderungen und auf eine Atmosphäre.

Uranus. Seine Rotation ist unbekannt, sein Durchmesser 7500 Meilen, seine Masse $^1/_{24600}$ und die Abplattung etwa $^1/_{10}$. Saturn und Jupiter sind ihm Morgen- und Abendsterne, von allen übrigen Planeten würde das unbewaffnete Auge eines Erdbewohners von dort aus nichts mehr gewahren und auch die beiden genannten können ihm der großen Entfernung wegen nur einen schwachen Glanz spenden. Aber auch die Fixsterne sieht er

		Dauer eines Umlaufes. In Erdentagen.	Schnelligkeit des Umlaufs. In einer Secunde Meil.	Mittlere Durchmesser in Meilen.	Volumen, das der Erde = 1 gesetzt.
	Sonne.	0	0	192700	1407124
Innere Planeten.	Mercur	87,9	6, 6 M.	671	0,06
	Venus	224,7	4, 8 M.	1694	0,95
	Erde	365,2	4, 1 M.	1716	1
	Mars	686,9	3,33 M.	892	0,14
Kleine Planeten.	Flora	1193	2,6 M.		Unbekannt
	Victoria	1303			
	Vesta	1325		52?	
	Iris	1346			
	Metis	1346			
	Hebe	1379			
	Parthenope	1399			
	Asträa	1511			
	Egeria	1516			
	Irene	1518			
	Eunomia	1579			
	Juno	1592		11?	
	Ceres	1681		35?	
	Pallas	1687			
	Hygiea	2043			
	5 and. Plan.				
Aeußere Planeten.	Jupiter	4332,5	1, 8 M.	19294	1414
	Saturn	10759,2	1, 3 M.	15507	735
	Uranus	30686,8	0,94 M.	7500	82
	Neptun	60126,7	0,75 M.	9020	108
Satelliten.	Mond der Erde	27 T. 7 St. 43 M.		454	0,019
	Erster Mond des Jupiter	1 T. 18 St. 28 M.			
	Zweiter Mond des Jupiter	3 T. 13 St. 14 M.			
	Dritter Mond des Jupiter	7 T. 3 St. 43 M.			
	Vierter Mond des Jupiter	16 T. 16 St. 32 M.			
	Mimas (Monde des Saturn)	0 T. 22 St. 37 M.			
	Enceladus	1 T. 8 St. 53 M.			
	Tethys	1 T. 21 St. 18 M.			
	Dione	2 T. 17 St. 41 M.			
	Rhea	4 T. 12 St. 25 M.			
	Titan	15 T. 22 St. 41 M.			
	Hyperion	22 T. 12 St. ?			
	Japetus	79 T. 7 St. 53 M.			
	Ringe d. Saturn			38300	
	8 Mde. d. Uran.	4 bis 107 T.			
	2 Mde. d. Nept.	5 T. 21 St. bis ?			

Dichtigkeit, die der Erde = 1 gesetzt.	Masse, die der Erde = 1 gesetzt.	Neigung der Rotationsachse gegen die Bahnebene.	Dauer einer Rotation, eines Tages in Erdenzeit.	Abplattung.	Stärke der Beleuchtung durch die Sonne, die der Erde = 1.	Scheinbarer Durchmesser der Sonne, von den Planeten aus.
0,252	359551	0	25 T. 8 St. 9'.			0
1,22 (1,94)	0,073		24 St. 5'.		6,656	1° 24' 8''
0,940	0,894		23 St. 21'.		1,932	0° 45' 1''
1,00	1	66° 32'	23 St. 56'.	$^1/_{299}$	1	0° 32' 34''
0,958	0,134	61° 18'	1 T. 0 St. 37'	$^1/_{32}$ ($^1/_{16}$)	0,436	0° 21' 22''
Unbekannt.	Unbekannt.	Unbekannt.	27 St.	Unbekannt.	0,130	0° 12' 45''
0,243	343,063	86° 54'	9 St. 55'.	$^1/_{16}$ ($^1/_{18}$)	0,036	0° 6' 15''
0,140	102,681		10 St. 29'.	$^1/_{10}$	0,011	0° 3' 25''
0,178	14,612	0° 46'	9 St. 30'?	$^1/_{10}$	0,003	0° 1' 42''
0,230	24,889	?	?	?	0,001	0° 1' 5''
0,619	0,011	bis 6° 47'	27 T. 7 St. 43'	0	1	
			Wahrscheinl. bei all. gleich d. Uml.		0,036	
					0,011	
0,870					Sehr groß. 0,003 0,001	

nicht besser als wir. Denn im Allgemeinen steht man in unserem Sonnensystem den Fixsternen nirgends viel näher oder entfernter. Und auch den nächsten Fixsternen steht er nur etwa um so viel näher, als wir dem Monde stehen, wenn wir einen Berg besteigen. So ist er in seiner öden Einsamkeit hauptsächlich auf die Betrachtung seiner 8 Monde verwiesen, die sich aber unserem Anblick schon fast gänzlich entziehen. Aber was wir von ihnen wissen, ist ein in der gesammten Planetenwelt einzig dastehendes Verhältniß: ihre Bahnen stehen nämlich, wie man wenigstens von zweien derselben sicher weiß, nahezu senkrecht auf die Bahn des Uranus, so jedoch, daß die Richtung auf die entgegengesetzte Seite noch etwa 10 Grad überschlägt und sie also mit 80 Grad Neigung sich von Osten nach Westen, d. h. retrograd (rückläufig) herumbewegen. Diesen Trabanten geht also (und vielleicht dem Uranus selber) die Sonne und alle Gestirne im Westen auf und im Osten unter. — Die Schwere ist auf Uranus nicht sehr verschieden von der auf der Erdoberfläche. Durchschnittlich beträgt die Fallhöhe 11½ Fuß, und ein Pfund wiegt dort 25 Loth.

Uranus glänzt, verglichen mit anderen Planeten, mit mattem Schimmer, was hauptsächlich eine Folge der geringen Menge von Sonnenlicht ist, die er empfängt; denn er wird von der Sonne 368 mal schwächer erleuchtet als die Erde, und da jene ihm unter einem Durchmesser von 99″ erscheint, so kann sie ihm nur sehr wenig Wärme mittheilen, so daß unsere Thermometer dieselbe gar nicht mehr angeben würden. Deshalb ist denn auch die wahrscheinlich sehr excentrische Achsenstellung des Uranus (man vermuthet, daß sie den Bahnen seiner Monde entspreche), welche für die Wärmedifferenzen auf unserer Erde so sehr entscheidend sein würde, für ihn gleichgültig und wirkungslos. Wenn das Sonnenlicht auf Uranus noch hinreichend ist, einen Unterschied von Tag und Nacht zu bewirken, so zeigt sich dort eine Ungleichheit der Tage und Nächte wie sonst nirgends. Regelmäßige, bei jeder Rotation eintretende Wechsel hat man nur in einer Aequatorzone von 22° Breite. Von da ab stehen die längsten Tage (und die ihnen entsprechenden Nächte) so, daß sie unter 12° Breite 2,3, unter 15° Br. 4,8, unter 20° Br. 7,9, unter 30° Br. 13, unter 40° Br. 18, unter 50° Br. 22,8, unter 60° Br. 27,5 Erdjahre betragen u. s. w.

Neptun, der an den Marken der uns bekannten Planetenwelt steht und erst vor wenigen Jahren entdeckt worden ist, ist uns von Seite seiner physischen Natur noch ganz unbekannt. Sein Durchmesser ist 9020 Meilen,

seine Masse $^1/_{10446}$ der Sonnenmasse, und seine Umlaufszeit beträgt 60127,7 Tage. Ist Uranus dichter als Saturn, so ist Neptun wieder dichter als Uranus.

Die Cometen.

19. Dem Cometenwahn der früheren Jahrhunderte galten diese merkwürdigen Weltkörper als Verkündiger von Krieg, Krankheit, oder Mißwachs, vom Tode eines großen Mannes oder auch von einer neuen Ketzerei. Mit ängstlicher Sorgfalt beschrieb man ihr fürchterliches Ansehen, ob sie Flammen, Ruthen, gezückten Schwertern, feurigen Drachen und dergleichen geglichen. Man hielt sie für astralische Geister, für feindselige Mächte der alten Verkettung des Bestehenden, für unheilvolle Vorläufer schwerer Zeiten und Ereignisse. Während der römische Kaiser Augustus dem Volke öffentliche Spiele gab, erschien ein Comet mit starkem Glanze. Einige Schriftsteller haben diese Nachricht bezweifelt, weil ein Comet nur in Unglückstagen, nicht aber während fröhlicher Feste erscheinen könne. So tief war der Aberglauben in den dumpfen Gemüthern jener Zeit gewurzelt, daß man sich vom innigsten und nothwendigen Zusammenhang irdischer Calamitäten und himmlischer Wunderzeichen überzeugt hielt. Diese abergläubige Furcht, welche die Gemüther ängstigte, hat natürlich der Wissenschaft nicht den geringsten Dienst geleistet; es waren von ihr keine Ortsbestimmungen, auch nicht die rohesten und allgemeinsten, zu erwarten, welche dazu hätten dienen können, zu berechnen, ob die Cometen neue oder schon dagewesene seien. Besäßen wir von den vielen, in früheren Jahrhunderten erschienenen Cometen, die in die entlegeneren Räume unsers Sonnensystems gelangen, gute Beobachtungen, so wären bei ihrem Wiedererscheinen, das bei solchen Cometen Jahrhunderte auf sich warten läßt, die Berechner in den Stand gesetzt, die Elemente ihrer Bahnen mit annähernder Sicherheit zu bestimmen. Auf solche Weise hätten wir eine größere Zahl von Weltkörpern kennen gelernt, welche bei ihren starken Neigungen und Excentricitäten in die entferntesten Räume unserer Planetenwelt, wohin kein Fernrohr sie verfolgt, gelangen, und so gleichsam Alles erproben, uns über den Weltäther, über das Vorhandensein transneptunischer Planeten Aufschluß, kurz von Allem Rechenschaft geben könnten. Dies leistet uns erst der H a l l e y'sche Comet, der im Aphelium 60 mal weiter als im Perihel von der Sonne entfernt ist, wenn ein Berechner

seine letzte, 9 Monate hindurch verfolgte Erscheinung mit den früheren seit 1542 verbindet.

In den letzten hundert Jahren ereigneten sich 4 glänzende Cometenerscheinungen, und jedesmal unerwartet: 1744, 1769, 1811 und 1843. Außer diesen erschienen noch etwa 15 andere, die weniger augenfällig, doch aber noch mit unbewaffnetem Auge erkennbar waren, sowie eine größere Anzahl blos teleskopischer. Der große Comet von 1680 bildet die Scheide zwischen Irrthum und Wahrheit, zwischen Willkür und Gewißheit. Er erschien 13 Jahre nach der Cometographie Hevel's, der lehrte, daß die Cometen aus den Dünsten der Planeten entstehen; sechs Jahre nach seinem Erscheinen trat Newton mit seinen Principiis philosophiae naturalis hervor. Bald darauf unternahm Halley seine Arbeit, die erste schöne Frucht von Newton's Gesetzen. Er verglich alle bis dahin gesammelten Nachrichten von Cometen, gelangte aber unter den 400 älteren nur bei 12 zum Ziele. Zwölf andere in neuerer Zeit beobachtete kamen hinzu, und diese 24 parabolisch berechneten Halley'schen Bahnen sind die ersten, welche existiren. Er stellte die Elemente dieser Bahnen vergleichend einander gegenüber, um etwaige identische zu finden, und seine Erwartungen erfüllten sich, denn er fand, daß die Cometen von 1456, 1531, 1607 und 1681 ein und derselbe, daß die Cometen von 1264 und 1556, und diejenigen von 1532 und 1661 wahrscheinlich identisch sind. In Beziehung auf den ersten ist Halley's Vorhersagung, näher bestimmt durch seine Nachfolger, nun zweimal, 1759 und 1835, eingetroffen; die nächste Rückkehr steht 1912 bevor. Ueber die Bahnen der Cometen mag der Halley'sche einigen Aufschluß geben. Bei seiner letzten Erscheinung 16. Nov. 1835 war seine Geschwindigkeit an diesem Tage in der Sonnennähe 425 Meilen in der Minute

in der mittleren Distanz	der Venus 1835 Dec. 6. . . .	Geschwindigkeit	394	Meil.	in 1	Min.
	der Erde 1835 Dec. 25. . .	„	342	„	„ -	„
	des Mars 1836 Jan. 28.. . .	„	272	„	„ -	„
	der Vesta 1836 März 28. . .	„	221	„	„ -	„
	der Juno 1836 Apr. 17.. . .	„	207	„	„ -	„
	der Ceres und Pallas 1836 Apr. 30.	„	200	„	„ -	„
	des Jupiter 1836 Dec. 15. . .	„	143	„	„ -	„
	des Saturn 1838 Juli 10. . .	„	96	„	„ -	„
	des Uranus 1844 März 10. .	„	56	„	„ -	„
	Sonnenferne 1874 (Jan. 8.) .	„	8	„	„ -	„

Von den **Planeten**, als soliden Körpern von bestimmter und bleibender Form, unterscheiden sich die **Cometen** durch die Veränderlichkeit ihrer Gestaltung und die Wandelbarkeit ihrer Umrisse, durch ihr Durchschneiden der Planetenbahnkreise und dadurch, daß sie sich in sehr langgedehnten elliptischen Bahnen, d. i. in Ellipsen von sehr starker Excentricität, um die Sonne bewegen. Bei der kleinsten **Masse** erfüllen die Cometen doch den größten **Raum** im Sonnengebiet, und der **Zahl** nach — es gibt ihrer wahrscheinlich viele Tausende — übertreffen sie alle anderen planetarischen Körper. Von der Erscheinung und dem Laufe von 6 bis 700 finden sich theils nur rohe Andeutungen, theils glaubhafte nähere Nachrichten, dagegen kennt man 197 Cometen, deren Bahn berechnet ist.

Je näher die Cometen auf ihrer Bahn der Sonne kommen, desto freudigere Bewegung, desto rascheren, lebendigeren Schwung zeigen sie. Mercur, der unter den Planeten den schnellsten Umlauf hat, legt in 1 Zeitsecunde etwa 7 Meilen zurück, der berühmte Comet von 1680 dagegen offenbarte in seinem Perihel eine Geschwindigkeit von 53 Meilen in derselben Zeit. Dieser großen Schnelligkeit der Cometen in der Sonnennähe muß ihr oft plötzliches Erscheinen und baldiges Verschwinden zugeschrieben werden. In der Sonnenferne ist ihre Bewegung oft so langsam, daß alsdann z. B. der eben genannte Comet mit der Geschwindigkeit eines mäßig raschen Pferdes nur 10 Fuß in der Secunde zurücklegt.

Der Raum, in welchem sich die Cometen bewegen, ist ebenso verschieden, wie ihre Umlaufszeit. Sechs derselben, lichtschwach und von geringer Größe, verbleiben innerhalb der Bahn des Neptun; es sind die **inneren** Cometen. Andere überschreiten die jetzt bekannte Grenze der Planetenbahnen um Tausende von Millionen Meilen. Umlaufszeiten von $3^1/_3$, $6^3/_4$, $7^{19}/_{100}$ Jahren sind berechnet neben solchen von hundert und tausend Jahren, welche letzteren indeß schwer mit Genauigkeit zu bestimmen sind. So gebraucht der große Comet von 1680 über 8800 Jahre, der schöne Comet von 1807 über 1700, und der glänzende und am längsten beobachtete Comet von 1811 mehr als 3060 Jahre, um wieder zum Perihel zurückzukehren. Der Comet von 1770 ist der **Erde** (auf 6 Mondfernen), die Cometen von 1680 und 1843 sind auf ihrer Rückkehr zum Perihel der **Sonne** am nächsten gekommen. Der zweite Comet von 1819, welcher in beträchtlicher Größe plötzlich in Europa aus den Sonnenstrahlen heraustrat, ist am 26. Juni

— aber ungesehen — vor der Sonnenscheibe vorübergegangen. Dasselbe muß der Fall gewesen sein mit dem Cometen von 1843.

Die Masse dieser räthselhaften Himmelskörper ist, trotz der ungeheuren Größe ihrer Nebelhüllen und Schweife, in Vergleich mit den Planeten doch außerordentlich gering, und da man Cometen beobachtet hat, welche die Strahlen eines Sterns, den sie bedeckten, selbst durch ihren Kern, wenn auch nicht ungehindert, gehen ließen, so muß ihre Dichtigkeit unmerklich klein sein. Daraus erklärt sich, daß der Widerstand des Weltäthers (3) sich an den Cometen, besonders bei dem so häufig wiederkehrenden Encke'schen, bemerklich macht, während bei den derberen Planetenmassen noch nichts der Art bemerkt worden ist. Auch hat aus der gleichen Ursache noch nie ein Comet durch seine Anziehung die geringste Spur einer störenden Wirkung auf Planeten oder Trabanten geäußert. Für immateriell können sie gleichwohl nicht gelten, denn sie selber sind für störende Einwirkungen der Planeten so sehr empfänglich, daß dadurch bei einigen die Umlaufszeit um Jahrzehnte beschleunigt oder verzögert worden ist. Der kühne Comet von 1770 kam zuerst der Erde sehr nahe, dann ging er zwischen Jupiter und seinen Monden durch, ohne daß die Astronomen die geringste Störung im Trabantensystem dieses Planeten hätten beobachten können, er selbst aber erlitt durch Jupiter eine solche Veränderung seiner Bahn, daß wenig Hoffnung bleibt, ihn jemals wieder zu sehen. Es kommt den Cometen vielmehr gleichsam eine passive Materialität zu, d. h. ihre Anziehungskräfte sind unvermögend, auf solide Körper einen bemerkbaren Einfluß auszuüben, und dies macht sie zu den gefahrlosesten aller Himmelskörper. Feste, oder tropfbar flüssige Massen sind also die Cometen in keinem Falle, und die an ihnen beobachtete überaus rasche Beweglichkeit und Veränderlichkeit ihrer Gestalt weist auf einen höchst geringen Zusammenhang ihrer Massentheilchen hin, ähnlich den Wolken unserer Atmosphäre. Doch dürfte diese Vergleichung vielleicht nicht auf alle passen. „Wenn bei den Ausströmungen der Cometen," sagt A. v. Humboldt, „die Umrisse der lichtreflectirenden Dunsttheile gewöhnlich sehr unbestimmt sind; so ist es um so auffallender und für den Molecularzustand des Gestirns um so lehrreicher, daß bei einzelnen Individuen (z. B. bei dem Halley'schen Cometen Ende Januars 1836 am Cap der guten Hoffnung) eine Schärfe der Umrisse in dem parabolischen vorderen Theile des Körpers beobachtet worden ist, welche kaum eine unserer Haufenwolken darbietet. Der berühmte Beobachter am Cap

(John Herschel) verglich den ungewohnten, von der Stärke gegenseitiger Anziehung der Theilchen zeugenden Anblick mit einem Alabastergefäß, das von innen stark erleuchtet ist."

Die geschweiften Cometen zeigen eine merkwürdige Wandelbarkeit ihrer Gestaltung. Ein und derselbe Comet erscheint erst als matter Nebelfleck, dann als Nebelstern, dann als Schweifstern, indem er sich der Sonne nähert, und in umgekehrter Folge, wenn er sich wieder entfernt. Diese Formveränderung ist eine Folge der fächerartigen Ausströmung der Cometen, von der nachher die Rede sein wird.

Man unterscheidet gewöhnlich den Schweif der Cometen von seinem Kopfe, und in letzterem den Kern von der Nebelhülle. Doch hat es Cometen gegeben, wo sich kein Schweif, sowie andere, wo sich auch kein Kern zeigte, sondern nur eine formlose dünne Lichtmasse. Beides kann zwar aus einem blos optischen Grunde zu fehlen scheinen; doch gibt es Fälle, wo diese Erklärung offenbar nicht Stich hält und wo sie also fehlen müssen. Der Kopf ist meist beträchtlich groß, und übertrifft häufig das Volumen der Sonne; klein dagegen ist der Kern, insofern ein solcher sich unterscheiden läßt. In einzelnen Fällen bei großen Cometen ist er wie ein Stern erster und zweiter Größe, und selbst bei Tage, wie unter anderen bei dem langgeschweiften von 1843, leuchtend gesehen worden. Bei dem Cometen von 1811 zeigte sich um den Kern herum ein verhältnißmäßig dunkler Raum und jenseits desselben eine Art conoidischer Mantel als Nebelhülle, dessen beide Aeste in ihrer Verlängerung den Schweif bildeten. Die Schweife pflegen die Verlängerung der Nebelhülle zu sein, und wachsen mit der Annäherung zur Sonne, nehmen aber mit der größeren Entfernung von derselben wieder ab; in den sonnenfernen Gegenden findet daher wahrscheinlich gar kein Schweif statt. Oft ist er überraschend groß; in einzelnen Fällen hat die Berechnung auf 10 — 15 Millionen geographischer Meilen geführt. Die Schweife sind gewöhnlich einfach, seltener doppelt, und dann von verschiedener Länge, gerade oder gekrümmt, auch wohl flammenartig geschwungen, und sie sind meistens, doch nicht immer ganz direct, von der Sonne dergestalt abgewandt, daß sie dem Cometen beim Laufe zur Sonne folgen, bei der Rückkehr von ihr aber vorausgehen. Der Comet von 1807 zeigte zwei Schweife, Fig. 4, Taf. III, welche in gleicher Richtung von dem Kern ausgingen, deren einer länger und gerader, der andere kürzer und mehr gekrümmt war; derjenige von 1824 hatte ebenfalls zwei Schweife, einen

längeren von der Sonne abgewandten, und einen kürzeren, ihr zugewandten, Fig. 5, Taf. III. In der Regel wird der Schweif gegen sein Ende zu breiter und ist seiner Länge nach in der Mitte gewöhnlich durch einen minder hellen Streifen gespalten. Diese Erscheinung läßt sich durch die Annahme erklären, daß der Schweif ein hohler, mit einem eigenthümlichen, schwachen Lichte begabter, durchsichtiger Kegel sei, der sich dann an seinen beiden Rändern offenbar viel glänzender als in der Mitte zeigen muß. Der schöne Comet von 1744, von welchem Heinsius treffliche Abbildungen hinterlassen hat, zeigte sich mit sechs solcher Schweife, Fig. 6, Taf. III. — Uebrigens sind Schweif, Nebelhülle und Kern durchsichtig, und noch nie ist ein Stern durch den Vorübergang eines Cometen verdeckt, ja nur sein Licht sehr merklich geschwächt worden, nur daß er sich auf dem helleren Cometengrunde nicht so scharf hervorhebt, als auf dem dunkeln Himmelsgrunde.

Der Comet hat kein eigenes, oder wenigstens zum größten Theil kein eigenes Licht, was theils durch astronomische Beobachtungen, theils durch physikalische Versuche dargethan ist. Die ersteren lehren, daß seine Sichtbarkeit fast ganz allein von der Distanz von der Sonne und nur sehr wenig von der Stellung zur Erde abhänge; daß ferner selbst die größten Cometen noch diesseits der Jupiterbahn verschwinden und zwar nicht durch Kleinheit, sondern durch zunehmende Lichtschwäche. Die physikalischen Untersuchungen Arago's aber zeigen, daß das Cometenlicht sich im Polarisationsapparate ganz so darstellt, wie alles übrige erborgte (reflectirte) Licht, während directes (der Sonne, Fixsterne) sich wesentlich verschieden verhält.

A. v. Humboldt vermuthet, daß dunstartige Theile der Schweife von manchen Cometen sich mit unserer Atmosphäre gemischt haben mögen, und erinnert dabei an die wundersamen Nebel von 1783 und 1831, welche einen großen Theil unsers Continentes bedeckten, und vielleicht Folge einer solchen Vermischung gewesen seien. Doch sind solche Nebel nicht immer im Gefolge einer Cometenberührung mit unserer Erde; denn diejenige, welche am 26. Juni 1819 effectiv stattgehabt hat, hat eine derartige Wirkung nicht gehabt. — Die Erde participirt aber, indem sie ihr eigenes, besonderes Leben bewahrt, vom Leben des Universums; weshalb es sehr wahrscheinlich ist, daß Cometen bei starker Annäherung nicht ohne Einfluß auf das Leben der Erde sein, und Schwankungen in der Mischung der Luft, Aenderungen in den gegenseitigen Spannungsverhältnissen der Electricität und des Magnetismus und Aehnliches bewirken werden. — Ein kaum für

möglich gehaltenes Ereigniß hat der Biela'sche Comet (ein innerer mit einer Umlaufszeit von $6^3/_5$ Jahren) dargeboten, indem er sich in zwei Cometen getheilt, beide mit Kopf und Schweif und ähnlicher Gestalt, aber ungleicher Ausdehnung. Der eigentliche Act der Trennung und der kurz vorhergehende Zustand des älteren Cometen sind der Beobachtung entgangen, beide aber haben sich, so lange man sie beobachten konnte, nicht wieder vereinigt und sind gesondert fast parallel mit einander fortgeschritten. Die schon erfolgte Trennung wurde in Nordamerika am 29. Dec. 1845 zuerst und in Europa um die Mitte Januars 1846 erkannt. Der Abstand beider Cometen war anfangs 3, später 6 Minuten. Die Lichtstärke wechselte, so daß der allmälig wachsende Nebencomet eine Zeit lang den Hauptcometen an Lichtstärke übertraf. Am 24. März war der kleinere Comet wegen Entfernung und zunehmender Lichtschwäche kaum mehr zu erkennen. Ob der getrennte Comet bei der Rückkehr des Biela'schen Cometen als dessen Begleiter wieder erkannt werden wird, müssen die Beobachtungen im Jahr 1853 lehren.

Ueber die Natur der Cometen, welche von der der Planeten gänzlich verschieden ist, sind die Meinungen getheilt. Der von Bessel beobachtete Halley'sche Comet, der eine Umlaufszeit von 76 Jahren hat und 1835 zum sechsten Male (wenn nicht zum neunten) zum Perihel zurückkehrte, ist in dieser Hinsicht besonders merkwürdig. Seine höchst interessanten Verwandlungen können uns über die Cometennatur, im Allgemeinen wenigstens, Aufschluß geben. Dieser Comet wurde am 5. August des genannten Jahres zuerst gesehen, und erschien anfangs als ein bloßer Nebelfleck, dessen Mitte sich durch stärkere Zusammendrängung des Nebels auszeichnete. So war die Erscheinung bis zum 2. October, von da an aber entwickelte der Comet eine Reihenfolge von Erscheinungen, die zu den lehrreichsten gehören, welche Beobachtungen über die Beschaffenheit der Weltkörper bis jetzt dargeboten haben. An diesem Tage nahm Bessel an der vorderen, der Sonne zugekehrten Seite des Kerns, der eine beträchtliche Vermehrung seiner Helligkeit erfahren hatte, eine sichtbare Ausströmung an Lichtmaterie in der Form eines Büschels oder ausgebreiteten Fächers wahr; später vergrößerte sich die ausströmende Fläche, und am 22. October ging die Ausströmung von einem beträchtlichen Theile der Oberfläche des Kerns aus, hatte aber nicht mehr die Form eines ausgebreiteten Fächers, sondern war einem von beiden Seiten herabwallenden Federbusch vergleichbar, indem sie sich auf

beiden Seiten von der Sonne abwärts krümmte und auf diese Art in den Schweif überging. Die Ausströmung machte von der Rechten zur Linken und zurück regelmäßige Bewegungen um die Richtung zur Sonne hin, pendelartige Schwingungen von 31 Stunden Dauer und von 60 Grad Weite, und zeigte die größte Lebhaftigkeit, wenn sie der Richtung nach der Sonne nahe war. Bessel bezweifelt nicht, daß die Ausströmung aus einer Wirkung der Sonne auf den Cometen entstanden sei, zumal da sie in größerer Thätigkeit gesehen ward, wenn sie der Sonne näher war, von ihrer Ursache also kräftiger unterstützt wurde, und hält beim Halley'schen und anderen Cometen die Ausströmungen sowohl, wie die Schwingungen für die Wirkung von Polarkräften, welche bei diesen Vorgängen thätig seien. Die Erscheinung der Schweife würde sich also dadurch erklären, daß die ausströmenden Theilchen, indem sie aus dem der Sonne zugewandten, und ihr freundlich polarisirten Theile der Cometenoberfläche hervorgehen, auch dieselbe Polarisirung besitzen und sich ihr folglich zu nähern suchen, aber übergehend in den Raum, welcher mit Materie erfüllt ist, die der Sonne feindlich polarisirt ist, die Eigenschaft freundlicher Polarisirung verlieren, dafür die entgegengesetzte annehmen, desto mehr, je weiter sie sich vom Kern entfernen. Der Sonne feindlich polarisirt müssen sie aber die Abstoßungskraft erfahren, welche die Beobachtung zeigt, und sich zu einem Schweif verlängern. Jedenfalls aber kann sich die Wirkung dieser Polarkräfte in den Ausströmungen nach bestimmten Richtungen erst dann zeigen, wenn der Comet der Sonne so nahe ist, daß der Unterschied der Wirkung auf die verschiedenen Theile seines Körpers merklich wird, so daß also die Stärke der wirkenden Polarkraft von der Entfernung des Cometen von der Sonne abhängig ist.

Nach dieser so einfachen, wie großartigen Ansicht Bessel's von der Natur der Cometen sind die Schweife Ausströmungen des Kerns, welche kegelförmige Hüllen bilden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß der Halley'sche Comet, welcher 1835 so interessante Erscheinungen darbot, sie auch bei seiner früheren Erscheinung 1759 gezeigt hat, um so mehr, als der Comet von 1744 demselben durchaus ähnlich war. Die Zeichnungen von Heinsius über jenen Cometen vervollständigen und ergänzen das, was Bessel an dem Halley'schen beobachtet hat. Beide zeigten sich anfangs ohne sichtbare Ausströmung zur Sonne; beide fingen darauf an, von einem kleinen Theile der Oberfläche der Sonne zu sichtbar auszuströmen; später vergrößerte

sich die ausströmende Fläche, die Ausströmung krümmte sich, auf beiden Seiten, von der Sonne abwärts und ging auf diese Art in den Schweif über. Beide durchliefen also dieselben Stadien der Entwickelung. Bessel bringt, wie wir gesehen, die verschiedenen von ihm beobachteten Erscheinungen mit einander in Verbindung, indem er sie auf ein Princip bezieht. Er ist übrigens der Meinung, daß die vorzugsweise der Sonne zuströmende Materie nicht nothwendig genau dieselben Eigenschaften besitzen müsse, welche die von der Oberfläche des Kerns im Allgemeinen ausströmende hat. Unterschiede dieser Art haben sich an den Schweifen einiger Cometen gezeigt. Der Comet von 1807, Fig. 4, Taf. III, zeigte zwei Schweife, welche in gleicher Richtung von dem Kern ausgingen, deren einer länger und gerader, der andere kürzer und mehr gekrümmt war. Die Erklärung dieser Erscheinung fordert, daß man der Kraft, mit welcher die Sonne auf die den Cometen verlassenden Theilchen wirkt, für verschiedene Theilchen zwei verschiedene Werthe gebe. Die in ihrer Art einzige Erscheinung des Cometen von 1824, Fig. 5, mit einem der Sonne zugekehrten und einem von ihr abgewandten Schweife erklärt sich dadurch, daß die Polarisirung des Cometen und die Ausströmung zur Sonne sich eingefunden haben, während der den Kern umgebende, feindlich zur Sonne polarisirte Nebel noch nicht oder nicht in hinreichender Menge vorhanden war. In diesem Falle konnte die der Sonne freundliche Polarisirung nicht neutralisirt werden, und die dieselbe besitzende Materie konnte eben so ungehindert zur Sonne gehen, als die entgegengesetzte von ihr ab. Auch die interessante Erscheinungsform des Cometen von 1811, Fig. 7, dessen Schweif vom Kerne ganz getrennt war, zeigte dieselben Wirkungen einer Polarkraft.

Man hat, wie schon früher bemerkt worden, namentlich am Encke'schen Cometen eine Beschleunigung seines Laufes bemerkt, und dieselbe aus dem Widerstande erklärt, den der Weltäther auf die geringe Masse des Cometen ausübt. Indem dadurch nämlich zunächst die Geschwindigkeit des Himmelskörpers vermindert wird, so entfernt sich der Comet nicht so weit von der Sonne, und es muß die große Achse seiner Bahn und mithin auch die Umlaufszeit kleiner werden. Der Widerstand des Weltäthers kürzt also den Umlauf des Cometen ab und wirkt beschleunigend auf seine Wiederkehr zum Perihel. Ein anderer Erklärungsversuch der beobachteten Erscheinung gründet sich auf die vom Cometenkern ausgehenden Ausströmungen, die einen rückwirkenden Druck auf den Körper ausüben sollen, welcher verzögernd oder

beschleunigend wirken werde, je nachdem er im Sinne der Bewegung des Cometen oder im entgegengesetzten erfolge. Von diesen beiden Erkläungen ist jedoch die erstere die ziemlich allgemein angenommene.

Was endlich die Berechnung der Cometen b a h n e n betrifft, so begnügt man sich bei sehr vielen, selbst neueren Cometen, mit einer genäherten Bestimmung, indem angenommen wird, daß der Comet sich in einer paraboli- schen Bahn bewege. Eine Parabel nämlich kann als eine sich nicht schließende Ellipse mit unendlich großer Achse betrachtet werden. Wenn nun Parabel und Ellipse denselben Scheitel und Brennpunct haben, so nähern sich die Bogen beider Curven in der Nähe des Scheitels, d. i. des Perihels, bedeutend, und eben an dieser Stelle ist es, wo man die Cometen gewöhnlich beobachten kann. Es wäre aber irrig, wenn man aus der Form der beobachteten Bahntheile ohne Weiteres einen Schluß auf die ganze Bahn ziehen wollte, und sie entweder für eine Ellipse, oder Parabel, oder Hyperbel halten würde. Es scheinen indeß die bisherigen Beobachtungen die Möglichkeit, ja die Wahrscheinlichkeit zu bestätigen, daß, wenn nicht alle, doch die meisten Cometenbahnen geschlossene Ellipsen seien, in denen sie periodisch zur Sonne zurückkehren. Bewegen sich aber nicht alle Cometen in Ellipsen, so muß es zwei verschiedene Classen derselben geben, solche, die dem Sonnensystem allein, andere, die der gesammten Fixsternwelt gemeinschaftlich angehören. Die letzteren wären gleichsam Verbindungsglieder zwischen den verschiedenen Fixsternsystemen. Auf die Annahme solcher Cometen führen auch die Beobachtungen L a m o n t's. Wenn die Planeten alle e i n e r Ebene, der E k l i p t i k angehören, so gibt es, nach ihm, für die Cometen z w e i solche Ebenen, die einen Winkel von 45° nach beiden Seiten mit der Ekliptik machen, also auf einander senkrecht stehen. In der einen bewegen sich die directen Cometen, in der andern die retrograden, die beide theils elliptischen, theils p a r a b o l i s c h e n Bahnen folgen. M ä d l e r hat die Zeit berechnet, in welcher ein Comet von unserer Sonne bis zur Wega (nach Struve 789000 Sonnenweiten von uns entfernt) laufen würde, und fand beiläufig 31 Millionen Erdenjahre. Von dieser Zeit würde er etwa 8 Jahre innerhalb des Sonnensystems und eine ähnliche Zeit innerhalb des andern zubringen, die übrigen 30 Millionen 999984 Jahre in öder Finsterniß, und dem Sternenhimmel im Ganzen nicht näher als wir.

Das Thierkreislicht.

20. In unseren Gegenden zeigt sich oft in den letzten Februar- und ersten Märztagen am westlichen, und in der Mitte October vor Sonnenaufgang am östlichen Himmel dem unbewaffneten Auge ein milder, weißlicher, manchmal gelblicher oder röthlicher, in der Mitte am stärksten glänzender, der Milchstraße ähnlicher Lichtschimmer, welcher sich in Gestalt eines Kegels, dessen Basis auf der Sonne, oder auf dem Horizont über der Sonne zu stehen scheint, und mit seiner Spitze sich schräg gegen den Thierkreis hin erstreckt. Es ist das Thierkreis- oder Zodiacallicht. In der Tropenzone ist es am deutlichsten und Monate lang bis zu einer Höhe von fast 40^0 sichtbar, und gleicht an Stärke des Lichtes den hellsten Theilen der Milchstraße. Die Achse desselben steht auf dem Aequator der Sonne, und da die Ebene des Sonnenäquators unveränderlich nur um $7^1/_2{}^0$ gegen die Ekliptik geneigt ist, muß es sich auch stets in der Nähe desselben zeigen. Wegen der Lage des Thierkreises und wegen der eigenen Neigung gegen die Ekliptik kann es nicht zu allen Jahreszeiten gleich sichtbar sein. Meist liegt es niedrig, daß es in den Dünsten der Abend- und Morgendämmerung verborgen bleibt. Dagegen zeigt es sich bei heiterer Luft im Frühling und Herbst, weil in diesen beiden Jahreszeiten die Dämmerung von kurzer Dauer ist. Gewöhnlich geht es durch die Sterne am Rande der Fische, am Kopf des Walfisches, dem Widder und den Triangeln nahe vorbei und reicht mit der äußersten Spitze bis zu den Hyaden im Stiere. Das Zodiacallicht befindet sich, wie aus der Richtung und der Zeit seiner vollkommensten Sichtbarkeit folgt, zwischen der Venus- und der Marsbahn, oder in der Erdregion und der Ebene des Sonnenäquators, oder leuchtet wenigstens hier am stärksten, während es sich wohl weiter nach beiden Seiten erstrecken mag. Wenn die Erde auf ihrer jährlichen Bahn vor Mitte Juni und December die Ebene des Sonnenäquators durchschneidet, ist uns das Thierkreislicht unsichtbar, gerade deshalb, weil wir uns alsdann mitten in demselben befinden.

Ueber die materielle Ursache des Zodiacallichtes ist noch nichts mit Gewißheit ermittelt. Man war früher geneigt, es für die Sonnenatmosphäre selbst zu halten; allein es ist nach den Gravitationsgesetzen mathematisch gewiß, daß diese nicht weiter als bis zu $^9/_{20}$ des Mercurabstandes reichen kann. Es scheint vielmehr die Ansicht die richtigere zu sein, welche

es für einen dunstartigen, abgeplatteten, frei im Weltraume zwischen der Venus- und Marsbahn kreisenden Ring hält, der sehr wahrscheinlich mit dem Sonnenäquator nicht zusammenfällt, und zu den planetarischen Formen gezählt werden muß. Ob sich das Zodiacallicht durch die unzähligen Cometenausströmungen erhalte oder vergrößere, ist eine Vermuthung, der nicht alle Wahrscheinlichkeit abgesprochen werden kann. A. v. Humboldt äußert sich darüber in seinem Kosmos: „Die verdunstenden Theile aus den Cometenschweifen verbreiten sich in den Weltraum, und bilden vielleicht entweder selbst das widerstandleistende, hemmende Fluidum, welches die Bahn zweier Cometen allmälig verengt, oder sie mischen sich mit dem alten Weltenstoffe, der sich nicht zu Weltkörpern geballt, oder zu der Bildung des Ringes verdichtet hat, welcher uns als Thierkreislicht leuchtet. Wir sehen gleichsam vor unseren Augen materielle Theile verschwinden, und ahnen kaum, wo sie sich wieder sammeln. Wahrscheinlich ist wenigstens die Verdichtung einer den Weltraum füllenden gasartigen Flüssigkeit in der Nähe des Zentralkörpers unseres Sonnensystems."

Sternschnuppen, Feuerkugeln, Meteorsteine.

21. Die letzte bekannte Classe von Weltkörpern, welche zum Sonnensystem gezählt werden, und die periodisch in die Region der Erde eintreten, sind die Sternschnuppen und Feuerkugeln. Sie sind Weltkörper geringerer Dimensionen, die wir nicht, wie die übrigen, blos durch ihre Bewegung und durch Lichteindrücke, sondern durch materielle Berührung kennen, indem wir sie wägen und chemisch untersuchen können. Sie umkreisen in den Räumen zwischen den Planeten theils zerstreut, theils schaarenweise in gemeinschaftlicher Bahn die Sonne, und erzeugen, wenn sie die Erdbahn in gewissen Puncten schneiden, und unserem Planeten dabei so nahe kommen, daß sie die äußersten Schichten seiner Atmosphäre streifen oder gar durch seine Anziehung perturbirt und gänzlich aus ihrer Bahn geworfen werden, die Erscheinung des Sternschießens und der Meteorsteine (Aerolithen).

Wenn sie, wie leuchtende Sterne, eine kurze Strecke und bald verschwindend durch den Himmelsraum ziehen, heißen sie Sternschnuppen, wenn sie dagegen in die Macht der Erdanziehung fallend, auf die Erde nie-

verstürzen, Meteorsteine. Diese sind die Ueberreste des Zerstörungsprozesses, dem diese Körper unterliegen, wenn sie mit unserem Planeten zusammengerathen. Ehe sie zerplatzen, ziehen sie als glänzende Feuerkugeln durch die Luft, mit großer Geschwindigkeit und bisweilen in Bogensprüngen, und zwar so, daß daran sowohl die Wirkung eines ursprünglichen Stoßes als die Anziehung der Erde zu bemerken ist. Nicht selten ziehen die Feuerkugeln einen Schweif nach sich, der zunächst an der Kugel aus Flammen, die sich hinterwärts zuspitzen, und weiter hinten aus Rauch besteht, zuweilen auch in die Länge gezogene Theile der Substanz selbst enthält. Endlich zerspringen sie mit vielem Getöse und heftiger Erschütterung der Luft, und dann fallen die Bestandtheile, welche nicht als Rauch oder Dampf verflüchtigt waren, als Stein- und Eisenmassen nieder. Das Licht der Feuerkugeln ist häufig weit heller als das des Mondes, manche waren selbst bei Tage so glänzend, daß sie einen deutlichen Schatten warfen. Meistens ist dieses Licht weißglänzend, oder es spielt etwas ins Rothe, doch sind auch andere Farben mehr oder weniger deutlich gesehen worden, bläulich-weiß z. B., wie von mir 1847 im Sommer in Chur.

Man hat früher die Meteorsteine aus dem Monde kommen, oder sie durch irgend einen Prozeß aus atomartiger Auflösung in der Erdatmosphäre sich ballen lassen. Kämen sie aus dem Monde, so müßten sie durch vulkanische Kräfte von der Mondoberfläche emporgeschleudert worden sein. Allein der Mond hat keine Vulkane. Nicht allein sind sie bei den genauesten Beobachtungen, trotz der ungeheuren Menge von Kratern, die uns der Mond zeigt, nicht wahrgenommen worden, sondern es fehlen ihm auch die Bedingungen, unter denen ein Vulcan ausbrechen kann. Aber gesetzt auch, ein vom Monde aufgeworfener Stein würde den Anziehungsbereich des Mondes überschreiten und in den der Erde eingehen können; so würden doch solche Mondsteinfälle sehr selten sein, weil bei den meisten dieser Fälle die Steine, wenn sie nicht auf den Mond zurückfielen, im Weltenraume weiter laufen und gar nicht gegen die Erde hin sich richten würden. Ebenso irrig ist die Meinung, welche unseren Luftkreis zum Entstehungsort dieser Körper gemacht hat. Das erste, stets plötzliche und unerwartete Erscheinen derselben bezeichnet wohl ohnehin nicht den Zeitpunct ihres Entstehens, und der Atmosphäre müßte man eine Höhe zutheilen, welche die gewöhnlich angenommene sehr weit übertrifft. Angenommen aber auch, sie würde sich zu so ungeheuren Höhen erstrecken, so müßte sie dort unmeßbar dünn sein. Nach

dem Gesetze Mariotte's und den in unteren Regionen angestellten Barometerbeobachtungen hat die Luft in 8 Meilen Höhe noch $^1/_{1000}$ ihrer Dichtigkeit (die an der Erdoberfläche 1 gesetzt), in 16 Meilen $^1/_{1000000}$, in 50 Meilen etwa 1 Trilliontel u. s. w. In einer solchen Luft aber, deren Dichtigkeit zu Nichts geworden, kann sich kein aufgelöster Meteorstoff mehr befinden, der hinreichend wäre, Feuerbälle von 3000 und mehr Fuß Durchmesser zu erzeugen. Denn wie wäre es möglich, daß die in einem so großen Raume locker zerstreute, atomartige Auflösung sich plötzlich zu so ungeheuren Massen vereinigen könnte? — Es erscheint also nur diejenige Ansicht haltbar, welche diesen Körpern einen kosmischen Ursprung gibt, indem sie in ihnen Massen erblickt, welche, keinem größeren Weltkörper angehörend, für sich bestehend im Weltraume umherziehen und, von der Erde angetroffen, theilweise angezogen werden. Mehrere Erfahrungen sprechen dafür, daß in dem Weltraume außer den größeren Weltkörpern noch viele kleinere, mit einer eigenen Bewegung begabte Massen vorhanden sind. Dahin gehören die Lichtpuncte und Lichtfäden, welche die Astronomen öfter durch das Fernrohr gehen sehen, besonders aber die dunkeln Massen, die man während des Tages vor der Sonne vorüberziehen sah, und welche oft eine sehr bedeutende Größe besaßen. Folgende Beobachtungen sind es aber ganz besonders, welche für die kosmische Selbstständigkeit der Sternschnuppen und Feuerkugeln sprechen.

Man kann annehmen, daß keine Nacht vergeht, in der nicht Sternschnuppen fallen; aber sie fallen nicht nur vereinzelt, sondern auch zu bestimmten Zeiten des Jahres in ganzen Schaaren. Man unterscheidet zwei Hauptperioden von Sternschnuppenschwärmen: den Novemberschwarm (12. — 14. November), der in den Jahren 1833, 1834 und 1837 aus dem Sternbilde des Löwen zu kommen schien, und den Augustschwarm (Strom des h. Laurentius, 9. — 14. August), welcher 1839 aus einem Puncte zwischen Perseus und Stier kam. Einen anderen Schwarm, vom 12. und 13. Mai hat man mit den kalten Tagen dieses Monats in Verbindung gebracht und die Kälte derselben aus Verdunkelungen der Sonnenscheibe durch vorbeiziehende Sternschnuppenschwärme erklären wollen. A. v. Humboldt vermuthet, daß man um den 22. — 25. April und zwischen dem 6. und 12. December noch andere periodisch wiederkehrende Schwärme entdecken werde. Diese Meteore haben nun, ob sie eremitisch oder in Schwärmen auftreten, eine sehr rasche Bewegung; denn es ergibt sich aus den Rechnungen eine Geschwindigkeit von mehreren Meilen in der

Secunde, wodurch die raschesten Bewegungen im Luftmeer, ja selbst die des Schalles und die Erdrotation, um das Hundert- und Tausendfache übertroffen werden; eine Geschwindigkeit, die nur in den kosmischen Bewegungen sich wiederfindet. Nicht selten übertrifft sie noch die der Erde in ihrer Bahn. Die periodische Wiederkehr von Sternschnuppenschwärmen, welche, so lange man sie beobachten konnte, gleichlaufend aus einer Gegend des Himmels herkamen, ohne an der Bewegung der Erde Theil zu nehmen, gibt unstreitig dem kosmischen Ursprung dieser Massen ebenfalls ein großes Gewicht. Denn sie läßt nicht leicht eine andere Erklärung zu, als daß sie sich entweder rückläufig in Bahnen um die Sonne bewegen, welche die Erdbahn schneiden, oder daß sie geschlossene Ringe von ungleicher Mächtigkeit bilden, welche, die Erdbahn schneidend, von Ost nach West um die Sonne kreisen. Im ersten Falle würde aus der periodischen Wiederkehr des Schwarmes an denselben Jahrestagen folgen, daß er zu einem Umlauf nahezu dieselbe Zeit gebraucht, wie die Erde; im zweiten Fall wäre nur nöthig, daß der Ring die Erdbahn an denselben Puncten durchschneidet, und könnte dann eine kürzere oder längere Umlaufszeit als die Erde haben. Nimmt man an, daß die Erde von Jahr zu Jahr mit verschiedenen Theilen des Ringes von ungleicher Mächtigkeit zusammentreffe, so erklärt sich hieraus die Ungleichheit des August- und Novemberphänomens in verschiedenen Jahren, und dieser Umstand würde hinwiederum weniger für die Ansicht von vereinzelten Schwärmen, als für die eines gefüllten, geschlossenen Ringes sprechen. Es läßt sich aber auch denken, daß zwei Schwärme von verschiedener Ausdehnung, ein jeder jedoch so gestaltet, daß er stets die ganze Bahn gleichzeitig mit Sternschnuppen erfüllt und also einen geschlossenen Ring bildet, die Phänomene des August und November hervorbringen, wie dies graphisch Taf. V. versinnlicht ist.

Die Meteorsteine, die Bruchstücke der Feuerkugeln, sind sämmtlich, soweit man ihr Niederfallen beobachtet hat, mit großer Gewalt und Schnelligkeit herabgestürzt, fußtief eingeschlagen und in heißem, ja glühendem Zustande gefunden worden. Sie sind gewöhnlich nicht einzeln, sondern gleichzeitig in großer Anzahl gefallen (Steinregen). Sie gewähren ein hohes Interesse, weil sie die einzigen Proben außerirdischer Körper sind, die wir zur Hand nehmen und näher untersuchen können. Von außen sind sie mit einer schwarzen oder schwärzlichen Rinde umgeben, welche aus denselben Stoffen zu bestehen scheint, als das Innere, nur in einem der Verschlackung ähnlichen

Zustande. Diese Rinde ist höchstens 1/4 Linie dick und zeigt an verschiedenen Steinen Ungleichheiten, auch ist sie oft so hart, daß sie an dem Stahle Feuer gibt. Sehr merkwürdig ist es nun aber, daß die Bestandtheile der Aerolithen dieselben sind, wie die unserer Erde. Bekanntlich unterscheiden die Chemiker einfache Grundstoffe (Elemente) und aus ihnen zusammengesetzte Körper. Bis jetzt haben sie über 60 solcher Elemente aufgefunden. In den Meteorsteinen hat man nun zwar bei weitem nicht alle irdischen Elemente gefunden, aber die gefundenen sind nur irdische, und diese oft in Verbindungen, wie sie in gewissen vulcanischen Gesteinen der Erde (namentlich in den Doleriten) vorkommen. Eisen, Nickel, Kobalt, Kupfer, Zinn, Mangan, Calcium, Magnesium, Silicium, Kohlenstoff, Chlor, Schwefel sind, außer einigen anderen, die gewöhnlichen Bestandtheile der Meteorsteine, welche darin zu drei verschiedenen Körpern vereinigt zu sein scheinen. Diese Zusammensetzung führt zu der Vermuthung, daß viele Grundstoffe unsers Erdkörpers eine allgemeinere Verbreitung in unserem Sonnensystem haben, was auch die anderweitige Verwandtschaft der einzelnen Glieder derselben wahrscheinlich macht. Uebrigens zeigen die Aerolithen in der Art der Zusammensetzung ihrer Bestandtheile im Allgemeinen etwas Fremdartiges; namentlich gibt ihnen das in fast allen eingesprengte gediegene Eisen einen eigenthümlichen Charakter. Ueberhaupt spielt dieses Metall eine so bedeutende Rolle in ihrer Zusammensetzung, daß man zwei Classen, nickelhaltiges Meteoreisen und körnige Meteorsteine unterscheidet. Die Fälle, wo gediegenes Eisen herabfällt, sind indeß weit seltener, als die übrigen; aber man hat Meteoreisen gefunden, welches körnige Meteorsteine an Masse weit übertrifft. Eine der bekanntesten Massen dieser Art ist die 1400 Zentner schwere, welche Pallas im Jahre 1771 in Sibirien kennen lernte und welche die Tataren als ein vom Himmel gefallenes Heiligthum ansahen.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß viele Meteorsteinfälle unbeobachtet vorübergehen, und daß eine große Zahl solcher Steine auf dem Boden uncivilisirter Länder oder des Meeres liegen, wo sie zum Theil einer allgemeinen Zersetzung entgegengehen. Könnte man Frankreich, wo innerhalb 26 Jahren 10 Meteorsteinfälle beobachtet worden sind, zum Maßstab annehmen, so müßten in diesem Zeitraume etwa 20000, jedes Jahr über 700 und jeden Tag etwa 2 Meteorsteinfälle auf der ganzen Erdoberfläche sich ereignet haben. In diesem Jahrhundert sind, nach Cotta, in Nordamerika 14, in der alten Welt 55 Meteorfälle beobachtet worden, und von diesen haben in Nord-

amerika 13 zwischen dem 33. und 54., in der alten Welt 50 zwischen dem 41. und 56. Grad nördl. Br. stattgefunden.

Bau des Sonnensystems.

22. Wir haben früher (12) gesehen, daß das Sonnensystem auf der Zentralkraft und Alleinherrschaft der Sonne beruht, daß es mithin den Grund seines Bestehens in sich selbst trägt. Die Alleinherrschaft der Sonne aber stützt sich erstlich auf das Uebergewicht ihrer Masse, welche die aller anderen Körper 738 mal, und die jedes einzelnen mindestens noch 1000 mal überwiegt; auf die Vertheilung der Hauptmassen zweitens in eine Reihenfolge wohlgesonderter Regionen, wodurch jeder Planet gehindert wird, seinen Nachbarn zu nahe zu kommen und das Attractionsübergewicht der Sonne aufzuheben; drittens darauf, daß die Hauptmassen dieselbe Bewegungsrichtung von Westen nach Osten in nahezu derselben Ebene haben, die in der vom Sonnenäquator durchzogenen Thierkreiszone liegt, und ihre Umläufe in Ellipsen von geringer Excentricität zurücklegen; viertens endlich werden weitgreifende Veränderungen der Planetenbahnen verhindert durch die wenig einfachen Verhältnisse der Umlaufszeiten. Wären nämlich die Verhältnisse zweier Umlaufszeiten einfach, so kämen die beiden Körper stets nach einem bestimmten Zeitraum wieder in dieselbe Stellung, und die daraus entspringende Störung würde daher immer in demselben Sinne wirken, so daß sie, wenn auch an sich klein, im Verlauf der Zeit doch zu einer Umgestaltung der Bahnen führen könnte. Weil nun diese Verhältnisse nicht so einfach sind, so trägt dieser Umstand gerade zur Unveränderlichkeit der Bahnweiten, sowie zur Erhaltung der Excentricitäten zwischen gewissen engen Grenzen wesentlich bei. Jene Sonderung der Regionen ist aber einmal der Art, daß die größten Planeten nach außen und in weiteren Abständen von einander stehen als die kleinen, und daß sodann die Anziehung, welche die Sonne auf den entferntesten Planeten ausübt, stets durchschnittlich etwa 250mal, und selbst im ungünstigsten Falle noch mindestens 30 mal die Anziehung des nächsten Nachbarplaneten überwiegt. Was dann noch die durchschnittlich geringe Excentricität der Planeten-Ellipsen betrifft, so ist dieselbe so beschaffen, daß die Sonnennähe oder die Sonnenferne bei keinem Planeten von dem

Kreis der mittleren Entfernung weiter als um den vierten Theil absteht, daher keine Kreuzung der Bahnen stattfinden kann (die Gruppe der Kleinplaneten abgerechnet, die unter sich ein eigenthümliches Gravitationsverhältniß darbieten) und die Sonne stets die überwiegende Anziehung behalten muß.

Das sind die wesentlichen Gründe für die Erhaltung des Sonnensystems, soweit sie von der Attractionskraft abhängt. Es ist aber schon früher an einigen Stellen bemerkt worden, daß die Gravitation nicht der alleinige Grund für die Bewegung der Planeten ist. Denken wir uns die Schwere allein wirksam, so müssen die Planeten mit beschleunigter Geschwindigkeit in die Sonne hineinstürzen. Es muß also eine andere Kraft hinzutreten, welche die Planeten fortwährend von der Sonne entfernt hält. Diese constante Entfernung der Planeten von der Sonne ist aber die Folge irgend eines ihnen von außen gegebenen Anstoßes, dessen Wirkung nach Richtung und Geschwindigkeit dem Gesetze der Trägheit gemäß ununterbrochen fortbesteht. Denken wir uns also das Verhältniß zur Sonne aufgelöst, die Zentralkraft aufgehoben, so würde der Planet von diesem Zeitpuncte an mit der Geschwindigkeit und in der Richtung, die er eben hatte, geradlinig und gleichförmig sich fortbewegen, rein nach dem Gesetze der Trägheit. Erst das ununterbrochene Zusammenwirken dieser beiden Elemente, der durch die Schwungkraft (12) erzeugten Tangentialgeschwindigkeit, die den Planeten von der geradlinigen Annäherung an die Sonne, und der Schwere, die ihn von der geradlinigen Entweichung von der Sonne abzieht, ist der Grund, daß der Planet die Sonne umkreist, wozu dann für den Fortbestand des Sonnensystems die vorhin angeführten vier günstigen Verhältnisse hinzukommen. Nimmt man die Anziehung als den physischen Grund für die Bewegung der Planeten um die Sonne an, so muß sich ganz natürlich die Frage nach dem physischen Grunde für die der Anziehung entgegenstrebende Richtung ihres Laufes von selbst aufdringen. Betrachtet man die Sache rein mathematisch, so kann man diese Frage vollkommen bei Seite liegen lassen; die Bahn der Planeten resultirt dann aus zwei Bewegungsrichtungen, gleichviel durch welche natürliche Ursache diese hervorgebracht sein mögen. Sobald man sich aber auf den Boden der Physik stellt, so kann man sich nicht damit begnügen, die Bewegung der Planeten nur nach e i n e r Seite hin zu erklären, die andere eben so wesentliche aber vollkommen im Dunkel liegen zu lassen. Der Newton'schen Auffassung bleibt daher nichts anderes übrig,

als Hypothesen aufzustellen, durch welche wenigstens die Möglichkeit jenes den Planeten von der Sonne wegtreibenden Anstoßes denkbar wird. Unter den verschiedenen Hypothesen, die hierüber ausgedacht sind, ist die von Laplace, von welcher gleich nachher die Rede sein wird, die einfachste und anerkannteste.

Durch das Gravitationsverhältniß des überwiegenden Sonnenkörpers in Verbindung mit der Tangentialkraft wird also jeder Planet in seiner Bahn erhalten, nicht ungestört zwar durch andere Planeten, aber ohne daß aus diesen Störungen (12) eine bedeutende Umgestaltung der Bahn entstehen könnte, sondern nur ein langsames und periodisches Schwanken um einen mittleren Zustand, oder um eine Bahnconstanz, so daß die Planeten bei diesen bloßen Oscillationen „wie ungeheure Pendel von ewiger Dauer erscheinen, welche Jahrhunderte schlagen, wie die unsrigen Secunden." Ueberhaupt ist im Sonnensystem dafür gesorgt, daß sich zu große Störungen nirgends anhäufen können. Jupiter z. B., der wegen seiner großen Masse die stärkste Wirkung auf die übrigen Planeten haben muß, hat an einem anderen großen Planeten gleichsam einen Balancier erhalten, den Saturn, nächst ihm der größte und ihm benachbart. Im Allgemeinen werden $^{19}/_{20}$ der Wirkungen, welche Jupiter auf die Gestaltung der Bahnen anderer Planeten ausübt, vom Saturn absorbirt, nur $^{1}/_{20}$ trifft die kleineren, die ihrer viel geringeren Masse wegen einen größeren Antheil an diesen Störungen haben würden. Aus Allem entnehmen wir also, daß die überwiegende Wahrscheinlichkeit für eine immerwährende Dauer des Sonnensystems nach seinem gegenwärtigen Bestande spricht, und daß seine Stabilität theils auf der Ueberwucht der Sonnenmasse, theils auf der Ausgleichung der Störungen beruht, welche, indem sie sich im Laufe sehr großer Perioden gegenseitig aufheben, ihm eben so sehr, wie jene, Bestand und Schutz verleihen.

Muthmaßliche Entstehung des Sonnensystems.

23. Es ist früher (13 und 15) gesagt worden, daß die Bewegung der Sonne um ihre Achse, der Planeten um die Sonne, der Trabanten um ihre Hauptplaneten und die Bewegung aller um ihre Achse eine und dieselbe Richtung hat, nämlich die von Westen nach Osten. Wollte man diese Uebereinstimmung dem Zufall zuschreiben, so würde die Wahrscheinlichkeit

gegen sie zwar immer berechenbar, aber doch unbegreiflich groß gewesen sein. Laplace hat gefunden, daß für die 34 Bahnen, die in der ersten Zeit unsers Jahrhunderts festgestellt waren, die Wahrscheinlichkeit für das Gegentheil sich verhält, wie 4 Millionen mal Millionen zu Eins. In der That sieht man sich zu der Annahme gedrängt, daß die Gleichförmigkeit der Bewegungen sowohl, wie die ungefähre Einfügung derselben in die gleiche Grundebene, welche durch den Aequator des Zentralkörpers angezeigt ist, die Folge einer einzigen, durch das ganze System wirkenden Ursache gewesen sein müsse, durch welche uns das Netz der Verwandtschaft, das alle Glieder des Systems umschlingt, am besten begreiflich wird.

W. Herschel kam bei der Beobachtung der Nebelflecke, welche der stärksten teleskopischen Vergrößerung widerstanden, auf die Idee, daß dieselben Massen einer diffusen, leuchtenden Materie seien. Er entdeckte dann in ihnen mancherlei Merkmale, die eine Stufenfolge eigenthümlicher Zustände zu bezeichnen schienen, gleich als wenn sich die Nebelflecke in verschiedenen Graden der Verdichtung befänden, die sich aus einem vorigen, anderen Zustande herauszubilden begönnen. Laplace ging weiter und zeigte, daß Kerne, welche sich in solchen leuchtenden Stoffen bilden, Mittelpuncte für Ansammlung der sie umgebenden losen Materie werden müßten.

Laplace's fast allgemein angenommene Hypothese ist folgende: die gesammte Masse, aus der gegenwärtig die verschiedenen Körper unsers Sonnensystems bestehen, war ursprünglich formlos, unendlich verdünnt und ohne festes Centrum; sie nahm einen ungeheuren Raum ein, größer als der des jetzigen Sonnensystems, und würde, von einem Fixsterne aus gesehen, etwa wie ein Nebelfleck erschienen sein. Schon Kant schloß daraus, daß gegenwärtig in dem fast vollkommen leeren Weltraume keine erkennbare Ursache der Bewegung der Weltkörper vorhanden ist, auf einen ehemals ganz mit Materie erfüllten Weltraum, und nahm an, daß der Anfang der Bewegung zusammengefallen sei mit der Zusammenziehung der Materie um einzelne Mittelpuncte, oder mit ihrer Ballung. Von derselben Ansicht ging Laplace aus, denn er ließ jene Urmasse, aus welcher die Körper des Sonnensystems bestehen, um sich selbst in einer Periode rotiren, welche länger war, als die längste Umlaufszeit eines gegenwärtig daraus gebildeten Körpers. Ohne aber näher auf die physische Ursache dieser rotirenden Bewegung einzugehen, nahm er nur noch an, daß die Temperatur dieser Masse eine beträchtlich hohe, aber im Abnehmen begriffene gewesen sei. — Aus diesen Voraussetzungen

leitete nun Laplace die gegenwärtigen Zustände ab. Mit der Zusammenziehung und Verkleinerung des Volums jener Masse, welche nothwendig mit ihrer Abkühlung verbunden war, erfolgte eine rascher werdende Rotation, nach dem keplerschen Gesetze der in gleichen Zeiten zurückgelegten gleichen Flächenräume (12). Der Schwung der äußersten Regionen mußte daher je länger je mehr zunehmen, damit aber mußte ein Uebergewicht der Schwungkraft gegen die Schwere herbeigeführt und somit die Tendenz, von der übrigen Masse sich abzulösen, immer stärker werden. Weil an den Drehungspolen der Masse, wo die Schwungkraft am geringsten war, eine solche Tendenz nicht stattfinden konnte, und die Zusammenziehung ununterbrochen fortschritt; so mußte die ganze Masse je länger je mehr eine abgeplattete Gestalt annehmen, die sich um die Ebene ihres Rotationsäquators herum zusammendrängte. War zuletzt der Schwung der in dieser Ebene umlaufenden Massentheilchen so groß geworden, daß er die ansammelnde und gegen den Mittelpunct ziehende Kraft der Schwere überwand, so mußte sich ein Theil dieser Masse ablösen, und zwar im einfachsten Fall eine den ganzen Umkreis umfassende Zone, ein Ring. Dieser Ring rotirte für sich allein weiter, und die Kluft zwischen ihm und der sich immer mehr zusammenziehenden Masse ward fort und fort größer. Auf solche Weise trennten sich von der sich immer mehr contrahirenden Masse eine Reihe von Ringen ab. Alle diese Ringe rotirten für sich allein und auch in ihnen setzte sich die Abkühlung und die Contraction fort, letztere aber in veränderten Richtungen. Im einfachsten, aber in der Wirklichkeit seltensten Falle einer ganz oder sehr nahe gleichen Dichtigkeit aller Theile dieser Ringmasse konnte ein bleibender Ring entstehen; gewöhnlich aber hatte eine Gegend des Ringes ein dynamisches Uebergewicht, oder ein solches Uebergewicht fand statt in mehreren einzelnen Puncten desselben; dann mußte eine Zerbrechung des Ringes eintreten und seine noch flüssige Masse allmälig entweder um einen Punct oder um mehrere sich zusammenziehen. Im ersten Fall entstand ein Planet, im letzteren wurden aus dem Ringe mehrere. Sobald sich aber eine oder mehrere Contractionssphären aus einem Ringe gebildet hatten, wurde der bisherige Rotationsschwung des Ringes zur Umlaufszeit, zur Bahn eines oder mehrerer sich bildenden Planeten. Damit ist zugleich die physische Ursache der Tangentialkraft erklärt, weil der aus dem rotirenden Ringe neu sich bildende Planet nothwendig das Bestreben erhalten mußte, in der Richtung der Tangente des Rotationsschwunges vom Mittelpunct der Anziehung davon zu eilen. Und

da ferner die Theilchen der äußeren Seite des Ringes, d. i. die vom Mittelpunct der Sonne entfernteren, eine absolut größere Geschwindigkeit besitzen mußten, als die Theilchen der inneren Seite, so erhielt dadurch der nach dem Zerbrechen des Ringes neu sich bildende Planet nothwendig zugleich eine rotirende Bewegung im Sinne des Umlaufs um die Zentralmasse. Ebenso wird endlich durch diese Entstehung der Planeten die geringe Excentricität und sehr kleine Neigung ihrer Bahnen erklärbar.

In dieser Hypothese ist also der äußerste Planet der älteste. Bei Ablösung der folgenden Ringmasse war die ganze Masse schon dichter, die Rotationszeit kürzer geworden; die fortschreitende Contraction konnte nicht mehr so große Zwischenräume hervorbringen; die in späterer Zeit sich ablösenden Ringe mußten kleinere, dichtere, näher zusammenstehende, rascher umlaufende Planeten hervorbringen. Der größte Theil der Masse blieb unzertrennt und formte zuletzt eine Kugel, deren Rotation nach vollendeter Zusammenziehung dieselbe Richtung beibehielt, die Sonne.

Aber in den Partialmassen, die den Grundstoff zu den Planeten enthielten, wiederholte sich der Vorgang, der sich in der gesammten Urmasse gezeigt hat. Bei der auf ihr eigenes Zentrum sich beziehenden Rotation und der fortwährenden Zusammenziehung durch Abkühlung ging in einzelnen dieser Partialmassen abermals ein Abtrennen von Ringen vor sich, natürlich beschränkt auf einen engeren Raum und unter Verhältnissen, in denen bereits mehr Bestimmtheit und Gleichmäßigkeit sich ausspricht. Aus diesen Ringen haben sich die Monde entwickelt, und einer derselben, der, nicht zerbrechend, sich ganz erhalten hat, ist der Ring des Saturn. Weiter haben sich in unserem Sonnensystem diese kosmischen Generationen nicht fortgesetzt, hauptsächlich wohl deshalb, weil in den von der Partialmasse abgetrennten Ringen, die den Stoff der Monde enthielten, die Rotationsbewegung eine zu schwache war, so daß sich ein Uebergewicht der dem Planeten zugewendeten Seite bildete, wodurch eine freie Rotation verhindert wurde, wie wir denn dies wenigstens an unserem Monde kennen.

Diese Hypothese von Laplace setzt also voraus, daß die einzelnen Glieder unsers Sonnensystems aus einer weichen und diffusen Form der Materie hervorgegangen seien. Auch das Gesetz, durch welches die Gestalt der Himmelskörper bestimmt ist, setzt eine Form der Materie voraus, in welcher die einzelnen Theilchen derselben, ein jedes für sich, beweglich waren, also die Gasform oder wenigstens den flüssigen Zustand; — gerade wie das Gesetz, wo-

durch ein Thautropfen sich kugelt, voraussetzt, daß die Theilchen, aus welchen er besteht, vor seiner Bildung in einem solchen Zustand sich befanden. Es sind aber Gründe vorhanden, anzunehmen, daß die Materie, aus welcher sich die Glieder des Sonnensystems gebildet haben, früher flüssig oder gasförmig gewesen ist, und einer dieser Gründe hängt mit dem verschiedenen Dichtigkeitsgrade der Planeten und mit der inneren Hitze der Erde zusammen. Von allen Bestimmungen dieser Hypothese paßt aber keine auf die Cometen, und Laplace wendet sie auch nicht auf diese an. Sie scheinen überhaupt, wie schon früher beiläufig bemerkt worden (14), in keinem organischen Zusammenhange mit der Planetenwelt und der Sonne zu stehen; höchstens könnten etwa die inneren (19) von kurzer Umlaufszeit, die sämmtlich direct sich bewegen, hierher gezogen werden.

Plateau in Gent hat die Theorie von Laplace folgendem Experiment unterworfen. Er goß zu einer in einem gläsernen Gefäße befindlichen Mischung von Wasser und Weingeist eine geringe Quantität Olivenöl, welches genau die Dichtigkeit der Mischung besitzt, so daß er in dem Oele eine von den Wirkungen der Schwere befreite Flüssigkeit hatte, der es frei stand, diejenige äußere Form anzunehmen, welche ihr die auf sie einwirkenden Kräfte geben. Macht man den Versuch, so sieht man, daß das Oel nach dem Gesetz der molecularen Anziehungskraft sogleich eine kugelförmige Gestalt annimmt. Bringt man in das Gefäß eine senkrechte Achse, die mit einer kleinen Scheibe in der Mitte versehen ist und so gestellt wird, daß ihr Mittelpunct dem Mittelpunct der Oelkugel entspricht, und dreht man alsdann die Achse, so setzt man dadurch die Oelkugel in Bewegung und sieht dann sogleich, wie sich die Kugel nach den Polen hin abplattet und nach dem Aequator hin anschwillt. Man bringt auf diese Weise im Kleinen eine Wirkung hervor, von der man annimmt, daß sie ehedem auch bei den Planeten stattgefunden. Beschleunigung der Umdrehung vermehrt die Abplattung. Wird die Bewegung so schnell, daß drei Umdrehungen auf die Secunde kommen, so erreicht die flüssige Masse das Maximum der Abplattung; sie wird um die Achse herum oben und unten hohl, und während sie sich immer mehr in horizontaler Richtung ausdehnt, trennt sie sich endlich von der Scheibe los und nimmt die Gestalt eines regelmäßigen Ringes an. Anfangs bleibt derselbe noch durch ein dünnes Oelhäutchen mit der Scheibe verbunden, das aber, sobald die Scheibe still steht, zerreißt, wodurch dann der Ring vollkommen frei wird. Kurz nach dem Aufhören der Kreiselbe-

wegung der Scheibe verliert auch der Oelring seine Bewegung und rinnt wieder in Kugelform zusammen. Wird indessen eine kleinere Scheibe angewendet und mittelst derselben die Umdrehung fortgesetzt; so wird die Kreisbewegung und Schwungkraft auch in der Weingeistflüssigkeit erzeugt, und der Ring — hierdurch gehindert, seine Kugelform anzunehmen — theilt sich in mehrere gesonderte Massen, deren jede sogleich die Kugelgestalt annimmt. Diese zeigen im Moment ihrer Bildung fast immer eine fortrollende Bewegung um sich selbst, eine Bewegung, welche beständig die Richtung hat, welche der Ring verfolgte. Da überdies der Ring im Augenblick seines Auseinanderbrechens einen Rest von Schwungkraft besaß, so streben die Kugeln, welche aus ihm entstanden sind, in der Richtung der Tangente ihrer Bahn davon zu fliehen. Da aber auch andererseits die im Weingeist sich bewegende Scheibe diesem eine Kreisbewegung mitgetheilt hat, so werden die Kugeln hauptsächlich durch diese letztere Bewegung fortgetrieben und rollen eine Zeit lang um die Scheibe herum. Die, welche sich zu gleicher Zeit um sich selber bewegen, gewähren uns alsdann das interessante Schauspiel von Planeten, die sich zu gleicher Zeit um sich selbst und in ihrer Laufbahn bewegen. Endlich bilden sich, außer drei oder vier großen Kugeln, in welche der Ring sich auflöst, immer eine oder zwei kleinere, Trabanten vergleichbar.

Dieses Experiment liefert, so weit dies möglich ist, in der Hauptsache ein Miniaturbild der von Laplace angenommenen Bildung der Planeten durch das Zerbrechen der kosmischen Ringe in Folge der Umdrehung und Verdichtung der Sonnenmasse. Was übrigens die Hypothese selbst betrifft, so darf daran erinnert werden, daß sich bei ihr verschiedene Fragen aufdrängen, deren Beantwortung in eine ganz andere Region fällt, als um die es sich zunächst handelt. Es wird außerdem die Aufgabe, das Bestreben der Planeten, sich von der Sonne zu entfernen, zu erklären, dadurch noch complicirter, daß es hier auf eine bestimmte Richtung dieses Strebens ankommt. Daß sich die Planeten nämlich gerade in Ellipsen um die Sonne bewegen, und nicht in einem Kreise, daß ihre Bahn nicht die Gestalt einer Parabel oder Hyperbel hat, dies hängt nach dieser Betrachtungsweise wesentlich von der Richtung und Größe ab, in welcher der Seitenstoß den Planeten traf. Die Gravitation ist auch hier immer nur die eine Seite der Sache. Sie würde in derselben Weise und nach demselben Verhältniß wirksam sein, wenn auch die Planeten in parabolischen Bahnen die Sonne nicht umkreisten, sondern sich immer mehr und mehr von derselben entfernten. Laplace's Hypothese über die Entstehung

der Planeten würde also auch von der factischen elliptischen Bahn einen Grund zu suchen haben. So unsicher aber auch der ganze Boden dieser Art Betrachtungen sein mag, so ist doch entschieden die Nothwendigkeit derselben anzuerkennen, und bis wir den physischen Grund der elliptischen Bahnbewegung kennen, bleibt Laplace's Theorie ohne Zweifel die einfachste und beste.

Rückblick.

24. Die Formen und Verbindungen von Himmelskörpern, welche die Astronomen bis jetzt erkannt haben, sind zahlreich, erschöpfen aber den Reichthum und die Mannigfaltigkeit der Himmelserscheinungen wahrscheinlich lange nicht. Diese Formen und Gruppen sind folgende:

1) Einfache Fixsterne;
2) Zwei oder mehrere Fixsterne, welche sich gegenseitig umkreisen (Doppelsterne);
3) Leuchtende und dunkle große Weltkörper, welche ebenfalls in einem gegenseitigen Gravitationsverhältniß zu einander stehen;
4) Gruppen zahlreicher Fixsterne, welche sich als System darstellen;
5) Die Gruppirung der uns deutlich erkennbaren Fixsterne zum Milchstraßensystem unserer Weltinsel, wahrscheinlich mit concentrischen Ringen stärkerer Anhäufung. Analog sind vielleicht die meisten der fernen abgerundeten elliptischen und zum Theil ringförmigen Lichtnebel und Sternhaufen;
6) Die planetarischen Nebel;
7) Die Nebel mit Zentral- und Begleitsternen;
8) Die Doppelnebel;
9) Die Spiralnebel;
10) Die ganz unregelmäßigen Nebel;
11) Die Umkreisung eines einfachen Fixsterns (unserer Sonne) von einer Anzahl relativ viel kleinerer Himmelskörper ohne deutliche eigene Leuchtkraft; diese zerfallen in
    a) große Planeten mit weiten Abständen;
    b) kleine Planeten, deren verschlungene Bahnen eine Gruppe bilden;
    c) mittelgroße Planeten mit geringeren Abständen, als die ersten;

d) Cometen, durch geringere, weniger dichte Masse, andere Bahngestalt, oft auch durch einen leuchtenden Schweif von den Planeten verschieden;
e) Monde, welche fünf der Planeten und mit ihnen die Sonne umkreisen;
f) der Ring des Saturn;
g) problematische Körper, die zuweilen als Sternschnuppen oder Feuerkugeln von der Erde aus sichtbar werden, oder selbst als Meteorsteine auf sie niederfallen, und von denen ein Theil, ähnlich den kleinen Planeten, in kreisende Ringe zusammengedrängt zu sein scheint;
h) der noch räthselhafte Ring des Zodiacallichtes.

Die Gravitationsgesetze, denen die Bewegungen der Himmelskörper gehorchen, zeigen sich durch den ganzen Weltraum, wie überhaupt alle Naturgesetze, ausnahmslos, und sind überall geeignet, unter den verschiedensten Modificationen zu wirken. Newton hat hier den Grund gelegt; Männer, wie Euler, Clairaut, Lagrange, Laplace, Bessel, Gauß u. a. haben die Theorie entwickelt und die Wissenschaft dahin geführt, „Blicke in die innersten Geheimnisse der Systeme zu thun und Wahrheiten zu entdecken, die, wenn sie allein der Beobachtung überlassen geblieben wären, theils sehr spät und unvollkommen, theils gar nicht aufgefunden worden wären." Ja die entwickelte Theorie hat in neuester Zeit dem Astronomen das Fernrohr gerichtet und ihn gelehrt, aus den unerklärbaren Störungen des Uranus den Neptun zu finden. Dessen ungeachtet zeigen die Beobachtungen, wenn der Astronom die Theorie an ihnen prüft, „noch Abweichungen in verschiedenem Sinne, die zwar im Vergleich zu dem, was die Instrumente vor einem Jahrhundert leisteten, als unbedeutend verschwinden, heutigen Tages aber gleichwohl zu groß sind, um durch Fehler der Beobachtung erklärt werden zu können, und die uns also das Anerkenntniß abnöthigen, daß die Theorie doch noch immer nicht bis in ihre feinsten Einzelheiten durchgeführt sei." Es ist aber wohl möglich, daß außer dem Gravitationsgesetze, seiner Allgemeinheit unbeschadet, noch andere Kräfte bei den kosmischen Massen sich geltend machen. Encke hat an dem Cometen, der seinen Namen trägt, das schon früher vermuthete widerstandsfähige Mittel nachgewiesen; Bessel hat an dem Halley'schen Cometen Erscheinungen wahrgenommen, die auf eine Ausströmung und Abstoßung der Materie deuten, jedenfalls also auf ein Ver-

hältniß, das mit dem Gesetz der Schwere nicht in Verbindung steht, wenngleich es ihm nicht widerspricht. Auf der anderen Seite hat Kreyl zu zeigen versucht, daß dem Mond ein Einfluß auf die Declination und Intensität der Magnetnadel zukomme, und daß die uns zugewendete Seite des Mondes wie ein magnetischer Pol wirke. Wenn auch in den Beziehungen der Weltkörper zu einander es kein Agens gibt, welchem im Vergleich zur Attraction eine quantitative Bedeutendheit zukäme, und wenn die Bewährung der Gravitationstheorie, die Sicherheit der auf sie gegründeten Vorausbestimmungen und glänzenden Entdeckungen zur Genüge zeigt, daß höchstens nur das Letzte und Feinste unbekannt geblieben sein könne; so ist es doch wichtig, auch dieses zu erforschen und kennen zu lernen, weil auch die geringen Wirkungen der schwächsten und verborgensten Kräfte im Laufe der Zeiten zu einer merklichen Größe anwachsen können, und weil überhaupt erst mit der Kenntniß dieser Kräfte der Aufgabe der Astronomie Genüge gethan wird.

Die Erde.

Erste Abtheilung.

Rotation.

Tägliche Bewegung des gestirnten Himmels.

25. Ein unbedeutender Theil des Sonnensystems mit seinen Planeten, Monden, Cometen und Meteorgruppen ist unsere Erde, deren kosmische Verhältnisse nunmehr den Gegenstand des folgenden Hauptabschnittes bilden. Wir haben es zunächst mit der täglichen Bewegung des gestirnten Himmels zu thun, welche so viele Jahrhunderte hindurch die herrschende Vorstellung geblieben ist.

Es befinde sich, Fig. 6, Taf. VI, ein Beobachter in o, so wird derselbe, wie wenn wir uns ihn im Mittelpuncte C der Erde dächten, eine ganze Hälfte des gestirnten Himmels übersehen (siehe Fig. 1, Taf. I), weil der Erdhalbmesser oC im Vergleich mit der Entfernung der Fixsterne eine verschwindend kleine Größe ist. Daher denn eine durch den Mittelpunct der Erde gelegte Ebene HCH, die senkrecht von der durch's Zenith und Nadir (Z u. N) des Beobachters o gehenden Ebene geschnitten wird, den wahren Horizont (1) des Beobachters bildet, in dem die Sterne auf- und untergehen. Der Beobachter des Sternhimmels in o kann sich nun in einer einzigen Nacht

überzeugen, daß alle sichtbaren Sterne von Osten nach Westen sich in Kreisen bewegen, die um so kleiner sind, je näher die Sterne dem Puncte P am Himmel stehen. Betrachten wir also diese Bewegung, welche um die Himmels- oder Weltachse (1) geschieht, etwas näher.

Wenden wir z. B. am 21. März Morgens vor 6 Uhr den Blick nach der hellsten Stelle des Horizontes, so sehen wir, im Osten desselben, in o, Fig. 7, die Sonne über dem Horizonte aufgehen. Hierauf erhebt sie sich immer mehr in der Richtung des Pfeils und erreicht endlich, bei A ankommend, ihren höchsten Punct am Himmel (die obere Culmination), und der Zeitpunct, in welchem dieses eintritt, ist der Mittag. Von diesem Augenblick an sehen wir die Sonne in der Richtung des zweiten Pfeils wieder nach dem Horizont herabsinken und endlich im Westen (w) desselben verschwinden oder untergehen. Wir nennen bekanntlich im bürgerlichen Leben die Zeit, während welcher die Sonne sich über dem Horizonte befindet und durch ihr blendendes Licht alle übrigen Gestirne am Himmel unsichtbar macht, Tag, und den Bogen oAw, welchen die Sonne während desselben beschreibt, den Tagbogen der Sonne (1). Mit dem Untergang der Sonne tritt aber die Dämmerung und die Nacht ein, der Bogen wQo, welchen die Sonne unter dem Horizonte zurücklegt, ist daher der Nachtbogen, der am 21. März gleich ist dem Tagbogen; beide zusammen bilden den Tagkreis (1) der Sonne. Denken wir Nachts an die Stelle der Sonne irgend einen Fixstern, so ist der Vorgang ganz derselbe, wie der vorhin beschriebene, nur mit dem Unterschied, daß für den Stern der Bogen oAw dessen Nachtbogen und die Zeit seiner oberen Culmination in A Mitternacht ist. Das Gleiche gilt auch von anderen Sternen, die wir z. B. die Kreise SS′S″ beschreiben sehen, und überhaupt ist der Vorgang ganz derselbe, wir mögen die Bewegung der Gestirne an welchem Tage es immer sei beobachten, nur sind alsdann, mit Ausnahme vom 21. März und September, Tag- und Nachtbogen einander nicht gleich. Würden wir daher einen geraden Stab, parallel mit der Weltachse, fast genau auf den Polarstern richten und während einer heiteren Nacht öfters längs demselben hinsehen; so würden wir finden, daß die Sterne, welche wir dicht an der Richtungslinie dieses Stabes erblicken, einen sehr kleinen, die von derselben entfernteren einen größeren Kreis beschreiben. Der Polarstern (1) also würde beinahe still stehen, wir würden sehen, daß sich andere Sterne, je nach ihren Abständen vom Polarstern, in kleineren oder größeren Kreisen ringsherum bewegen; daß bei manchen diese

Kreise so groß sind, daß sie fast den Horizont berühren; daß bei anderen die Kreise eine solche Größe haben, daß der untere Theil derselben verloren ist, während sich der obere über den Horizont erhebt. Die letzterwähnten Sterne haben Tag- und Nachtbogen, während die ersteren zu den circumpolaren (1) gehören. Die Erscheinung ist stets dieselbe und ihre Dauer beträgt 24 St. Es ergibt sich also daraus, daß die tägliche Bewegung der Gestirne dergestalt vor sich geht, daß alle Sterne sich genau in Kreisen bewegen; daß sie zur Bewegung in ihren Tagkreisen 24 Stunden gebrauchen; und daß ihre Bewegung durchaus gleichförmig ist, indem sie in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen. Die ganze Bewegung geht überhaupt der Art vor sich, als ob sich alle Gestirne um eine gedachte Achse (die Weltachse) drehten. Es ist dieser Thatsache, welche als das Fundament der Astronomie angesehen werden muß, schon anfänglich gedacht worden, sie mußte aber hier etwas ausführlicher in Erinnerung gebracht werden, weil sie uns für unsere folgenden Betrachtungen die unentbehrlichen Anhaltspuncte darbietet.

Die beschriebene Bewegung stimmt nun allerdings mit dem Augenscheine überein, und da unter Allem, was die Naturlehre dem Menschen darbietet, ihn nichts in solchem Grade stutzig machen kann, als die Behauptung, daß sich der feste Grund unter seinen Füßen im Kreise drehe; so ist es erklärlich, daß man sich von der Vorstellung der Ruhe der Erde lange nicht loszumachen vermochte, und wie das ptolemäische System anderthalb Jahrtausende hindurch eine unbestrittene Herrschaft behaupten konnte, um so mehr, wenn man bedenkt, daß in den früheren Zeiten der Schrifterklärung allgemein angenommen war, die tägliche Bewegung der Himmelskörper sei als wirklich stattfindend durch Bibelstellen erwiesen. Seit Copernicus aber und seitdem man die Entfernungen der Fixsterne und die Kräfte und Gesetze kennen lernte, denen die Bewegungen der Himmelskörper folgen, war es leicht, nicht nur das Unwahrscheinliche, sondern auch das Ungereimte und Widersprechende in der Annahme einer Ostwestbewegung des gestirnten Himmels nachzuweisen. Es führt nicht vom Ziele ab, dies an einigen Beispielen zu zeigen.

Der Abstand eines Fixsterns von der Weltachse ist der Halbmesser seines Tagkreises, der natürlich um so größer sein wird, je größer sein Halbmesser ist. Wir wissen aber, daß die Entfernungen der Fixsterne von der Weltachse oder von uns — da die Erdachse ein Stück der Weltachse ist — sehr ungleich sind. Folglich müssen auch ihre Geschwindigkeiten sehr verschieden sein, weil, wie der Augenschein lehrt, ihre Bewegung in den Tagkreisen bei

jedem von gleicher Dauer ist, und ihre Geschwindigkeit zu den Räumen, die sie zu durchlaufen haben, in geradem Verhältniß steht. Nehmen wir die Entfernung des nächsten Fixsterns von uns in runder Zahl zu 4 Bill. Meilen an, so ist sein Tagkreis 2 × 4 Billionen mal 3,141 = 25,128 Billionen Meilen, und es müßte also dieser Stern, um seine 24stündige Umdrehung um die Weltachse zu vollenden, seinen Weg mit einer Geschwindigkeit von fast 300 Millionen Meilen in einer Zeitsecunde durcheilen. Eine solche Geschwindigkeit ist ohne Zweifel sehr unwahrscheinlich, und es wäre überflüssig, die Rechnung auch noch für die entferntesten Fixsterne zu machen, um die Zweifel an dieser Ostwestbewegung zu vermehren. — Wenn sich ferner die gewaltigen Massen der Fixsterne täglich einmal um die Weltachse drehen, so kann dies (nach 12 und 22) nur die Wirkung von Gravitationskräften sein. Für die Sterne, welche sich um denjenigen Theil der Weltachse, der mit der Erdachse zusammenfällt, also um die Erde bewegen, müßte diese der Sitz jener Kräfte sein. Nehmen wir nach aller Wahrscheinlichkeit an, einer dieser Sterne gleiche unserer Sonne, enthalte also etwa das 350000fache der Erdmasse, so müßte die Erde, eine an Masse 350000mal geringere Kugel, dennoch im Stande sein, diesen Stern dergestalt anzuziehen, daß er gezwungen ist, sich täglich einmal um sie zu drehen. Wir wissen aber, daß die Anziehungskraft eines Weltkörpers aus der Summe der Anziehungen aller seiner Massentheilchen besteht, daß also die Anziehung sich verhält, wie die Masse der anziehenden Körper (2); wir begegnen mithin dem Widerspruche, daß die Anziehungskraft der weit geringeren Erdmasse größer sein soll als die Anziehungskraft der weit größeren Masse jenes Sterns, und es wäre eben so, wie wenn man annehmen wollte, daß, Fig. 7, Taf. I, die Kugel F von der Kugel E angezogen werde. Diejenigen Sterne aber, welche sich außerhalb der Erdachse um die Weltachse drehen, müssen die Mittelpuncte ihrer Tagkreise in dieser haben. Die Weltachse ist aber nichts anderes, als eine ideale Linie, gegeben durch die beiden Weltpole; es hätten also die Gravitationskräfte für alle diese Sterne ihren Sitz in einem leeren Nichts, was wiederum aller Erfahrung widerspricht. Denn keine Kraft ist vorhanden ohne etwas Materielles, an das sie gebunden ist, nichts berechtigt uns, die Existenz von Kräften an und für sich, ohne Körper, von denen sie ausgehen und auf die sie wirken, vorauszusetzen, und noch nie ist eine Kraft anders als aus ihrer materiellen Wirkung erkannt worden. — Aber dies ist noch nicht Alles. Die Sterne bewegen sich insgesammt in gleicher Zeit um

die Weltachse, und die entfernteren, weil sie größere Tagkreise zurückzulegen haben, mit größerer Geschwindigkeit als die näheren. Diese größere Geschwindigkeit kann aber nur die Folge einer stärkeren Wirkung der Anziehungskraft sein (12), was in directem Widerspruche mit dem Attractionsgesetze steht, nach welchem die Anziehung mit den Quadraten der Entfernung abnimmt, so daß folglich die Geschwindigkeit eines entfernten Sterns auf seiner Bahn um das Kraftzentrum mit der Größe dieser Kraft abnehmen muß. Da endlich die Schwung- oder Tangentialkraft, mit welcher sich ein Weltkörper von seinem Kraftzentrum zu entfernen strebt, mit seiner Bahngeschwindigkeit nothwendig zunimmt; so müßte die Schwungkraft der Fixsterne, da sie ihre ungeheuren Bahnen in 24 Stunden zurücklegen sollen, ein solches Uebergewicht über die Anziehungskraft erhalten, daß sie sich immer weiter von der Weltachse entfernen und zuletzt für unser Auge unsichtbar werden müßten, womit gleichfalls alle Erfahrung im Widerspruche steht.

So verwickelt uns die Annahme einer täglichen Bewegung des gestirnten Himmels in eine Menge von Widersprüchen, die zeigen, wie trügerisch der bloße Augenschein sein kann. Diesen Widersprüchen entgeht man, wenn man mit Copernicus nicht die Sterne selbst, sondern die Erde einen 24stündigen Kreislauf von Westen nach Osten um die Weltachse, die alsdann ihre eigene Achse ist, machen läßt, an welchem Alles Theil nimmt, was zu ihr gehört, sowohl das fest mit ihr Verbundene und beziehungsweise Ruhende, als was sich wieder auf ihr bewegt, wie Luft, Wasser u. dgl. m. Weil wir aber von der Ost-Westbewegung der Erde, ihrer Rotation, unmittelbar nichts wahrnehmen können, so kann sie bloß erkannt werden an der Veränderung der Umgebung, d. h. an einer Bewegung der Himmelskörper, die eben deshalb scheinbar ist. Darum erklärt auch die Rotation der Erde, welche eine gleichförmige sein muß, gerade weil wir sie nicht spüren, alle Erscheinungen, welche die tägliche Bewegung des gestirnten Himmels darbietet. Es sei, Fig. 8, Taf. VI, E die Erde, SS nähere und entferntere Sterne, und HH der Horizont, der, wenn sich die Erde in der Richtung des kleinen Pfeils um die Achse dreht, beweglich sein wird, während er im entgegengesetzten Falle ruhend wäre. Befindet sich der Beobachter in a, so hat er die Sterne SS in seinem östlichen Horizonte, die Sterne S′S′ in seinem Zenith und die Sterne S″S″ im westlichen Horizonte. Wenn sich die Erde mit gleichförmiger Geschwindigkeit von Westen nach Osten dreht, so wird der Beobachter nach Verfluß von 6 Stunden um das Bogenstück

aa′ nach a′ vorgerückt sein. Diesem Bogenstück entspricht am Himmel das Bogenstück S′S, d. h. es wäre, wenn sich der Himmel in der Richtung des größeren Pfeiles von Osten nach Westen bewegte, der Stern S in der nämlichen Zeit nach S′ ins Zenith des Beobachters bei a gerückt. Die Sterne bei S stehen nun aber durch die Rotation der Erde dem Beobachter bei a′ ebenfalls im Zenith, und die Sterne S′S′, welche 6 Stunden früher in seinem Zenithe waren, sind in seinem westlichen Horizonte, als wären sie gegen denselben herabgesunken. In der Stellung a′ gehen dem Beobachter neue Sterne S‴S‴ in seinem östlichen Horizonte auf. Indem sich die Erde weiter von Westen nach Osten dreht, gehen ihm nach weiteren 6 Stunden, wenn er sich in a″ befindet, die Sterne SS unter und die Sterne S‴S‴ stehen in seinem Zenith. Nach einer ganzen Umdrehung endlich erscheinen ihm die Sterne bei S wieder im östlichen Horizonte, so daß sie während dieser Zeit einen ganzen Tagkreis am Himmel in der umgekehrten Richtung von der Umdrehung der Erde beschrieben zu haben scheinen. — Man kann sich den ganzen Vorgang auch so erklären, daß der Ortsmeridian (1), der beständig im Zenith des Beobachters bleibt, wegen der Umdrehung der Erde seinen Abstand von den Sternen jeden Augenblick ändert, indem er ihnen von Westen nach Osten entgegenrückt, während sie in entgegengesetzter Richtung ihm entgegenzurücken scheinen.

Die Rotation der Erde erklärt uns also vollständig die Natur der scheinbaren Sternbahnen, die Ost-Westbewegung der Sterne, weil die Erde sich ihnen von Westen nach Osten entgegendreht; die Gleichförmigkeit der Sternbewegung, weil die Rotation der Erde gleichförmig ist; endlich die gleiche Zeitdauer, die alle Sterne zu einer einmaligen scheinbaren Umdrehung gebrauchen, weil sich die Erde während dieser Zeit einmal um ihre Achse dreht. Die Umdrehung der Erde ist bei dem betrachteten Vorgange überhaupt das einzig Vernünftige, und schon der Umstand allein, daß man die Sterne als ein Ganzes sich bewegen sieht, ist ein starker Beweis dafür, daß nicht sie, vielmehr daß die Erde sich drehe. Die tägliche Sternbewegung ist also lediglich das Spiegelbild von der Achsendrehung der Erde, und wir sind demnach hinsichtlich der ersteren in derselben Täuschung befangen, wie der Knabe, der in einem kreisenden Carrousel zu sehen glaubt, daß seine ganze Umgebung in entgegengesetzter Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, wie die des Carrousels, und kreisförmig um dieselbe Achse sich drehe, um die er sich selbst dreht.

Berechnet man nun die Geschwindigkeit, mit welcher bei einer Umdrehung der Erde in 24 Stunden ein Punct des Aequators sich bewegen muß, so erhält man, da der Aequator 5400 Meilen im Umfang hat, 1427½ pariser Fuß, oder $^1/_{16}$ Meile für die Secunde. Diese Geschwindigkeit ist nun im Vergleich mit den Geschwindigkeiten der Fixsterne in ihren angenommenen ungeheuren Bahnen so äußerst gering und an und für sich nicht einmal der Geschwindigkeit einer Kanonenkugel gleich, so daß sie vortrefflich zu dem Erfahrungssatze paßt, nach welchem die Natur zur Erreichung ihrer Zwecke nie mehr Kraft verwendet, als eben nöthig ist. Für keinen anderen Punct der Erde kann es eine größere rotirende Bewegung geben, als die angeführte, da diese ebensowohl vom Aequator gegen die Pole, als von der Erdoberfläche gegen die Rotationsachse abnehmen muß; denn mit der Entfernung vom Aequator und der Oberfläche werden die Rotationskreise kleiner und damit auch die Geschwindigkeiten. Muncke gibt folgende Tabelle für die Geschwindigkeiten unter verschiedenen Breiten.

Breite.	Geschwindigkeit. Paris. Fuß.	Breite.	Geschwindigkeit. Paris. Fuß.
0°	1427,6	45°	1009,4
10	1405,9	50	917,6
20	1341,2	60	713,8
30	1236,3	70	488,2
40	1093,6	80	247,9

Es versteht sich übrigens wohl von selbst, daß die Geschwindigkeit der Erdörter bei der täglichen Bewegung nicht bloß nach der geographischen Breite, sondern unter jeder Breite auch mit der Höhe über dem Meere verschieden ist; denn die Geschwindigkeit einer Bergspitze wird größer sein, als die des Fußes, weil jene, bei größerer Entfernung von der Rotationsachse, die Umdrehung in einem größeren Kreise in gleicher Zeit wie dieser zurücklegt.

Beweise für die Rotation der Erde.

26. Unter den Einwürfen, welche gegen die Rotation der Erde erhoben worden sind, verdient hier einer nicht blos deshalb eine Stelle, weil er von Ptolemäus herrührt, sondern weil er bei näherer Untersuchung sich in einen directen Beweis für die Rotation, in eine wissenschaftliche Waffe gegen die Gegner derselben verwandelt hat. „Wenn man," lautet dieser Einwurf, „einen Stein gerade in die Höhe wirft, so könnte er, falls inzwischen die Erde rotirte, nicht an dem Puncte niederfallen, wo man ihn aufgeworfen, sondern weiter nach Westen entfernt, und zwar, wenn es unter dem Aequator geschieht, für jede Secunde um mehr als 1427 Fuß."

Prüfen wir diesen Einwurf näher. Der aufgeworfene Stein fällt wieder zur Erde nieder in Folge der Anziehungskraft, d. h. weil er von allen Erdtheilchen vor, hinter und neben ihm gleichmäßig angezogen wird. Dadurch ist zugleich die Richtung seiner Falllinie bestimmt, welche nur die mittlere zwischen diesen ziehenden Kräften, d. i. die senkrechte (scheitelrechte) sein kann, vorausgesetzt, daß während seines Falles keine andere Kraft auf ihn wirke, als die Schwere. Auf der Erdoberfläche steht aber keine andere Linie senkrecht, als diejenige, welche verlängert durch die Erdmitte geht. Hat daher der fallende Stein keine andere Bewegung als die des senkrechten Falles, so muß er allerdings, wenn die Erde während desselben von Westen nach Osten rotirt, um so viele Fuß von dem Puncte, wo er senkrecht in die Höhe geworfen wurde, nach Westen entfernt niederfallen, als während der Dauer seines Steigens und Fallens dieser Punct mit der rotirenden Erde nach Osten vorgerückt ist. Man müßte also obigen Einwurf zugeben, wenn er zugleich seine Voraussetzung beweisen würde, daß der fallende Stein keine andere als die senkrechte Fallbewegung haben könne. Allein wenn die Erde von Westen nach Osten rotirt, so muß der Stein, mag er vor dem Aufwerfen mit ihr verbunden gewesen sein oder nur lose auf ihr gelegen haben, an der rotirenden Bewegung der Erde Theil genommen haben, weil Alles, was zur Erde gehört, in der Achsendrehung des Erdganzen mitbegriffen ist. Daran kann ebenso wenig gezweifelt werden, als daran, daß der im Wagen Sitzende sich mit dem Wagen bewege; die Frage ist vielmehr die, ob der Stein beim Aufwerfen und Niederfallen die ihm durch die Erde mitgetheilte rotirende Bewegung beibehalte oder nicht.

Niemand wird leugnen, daß ein ruhender Körper so lange im Zustande der Ruhe verharre, als er durch nichts in diesem Zustande gestört wird. Ein bewegter Körper wird aber ganz das Nämliche thun, und so lange in der einmal ihm mitgetheilten Bewegung verharren, bis sich eine äußere Ursache der ferneren Dauer dieses Zustandes widersetzt*). Der aufgeworfene Stein wird daher die ihm zuvor schon mitgetheilte rotirende Bewegung so lange beibehalten, bis eine äußere Ursache ihn daran hindert. Aber weder die Wurfkraft noch die Schwere können sich seiner Bewegung von Westen nach Osten widersetzen, denn während er sich in dieser Richtung bewegt, kann er gleichwohl steigen oder fallen. Freilich wird jetzt seine Bewegung eine aus beiden zusammengesetzte; denn sie entsteht durch das Zusammenwirken zweier Kräfte, deren Richtungen Winkel mit einander machen, so daß durch sie der Stein nach zwei Richtungen hin bewegt wird, von Westen nach Osten durch die Rotation, und senkrecht durch den Wurf und die Schwere. Mit Beziehung auf die zusammengesetzte Bewegung eines Körpers gilt nun der Satz, daß, wenn in einem Körper zwei gleichförmige Bewegungen zugleich hervorgebracht werden, durch welche Kräfte es sein möge, deren eine ihn in einer gewissen Zeit durch einen bestimmten Raum geführt haben würde, während er, der anderen ausschließend überlassen, in der nämlichen Zeit einen andern Raum beschrieben hätte, der Körper unter diesen Umständen weder der einen noch der anderen Kraft allein folgen kann, sondern in derselben Zeit durch die Diogonale des Parallelogramms geht, dessen Seiten die unter den gehörigen Winkeln zusammengesetzten Räume beider Einzelbewegungen ausdrücken.

Es sei, Fig. 9, Taf. VI, ein Körper ursprünglich in A, eine der beiden Kräfte führe ihn von A nach O, die andere gleichzeitig von A nach S, so wird er beiden folgen, und in derselben Zeit einen Punct F erreichen, den er ebenfalls erreicht haben würde, hätten die Impulse durch beide Kräfte nicht gleichzeitig gewirkt, sondern würde der eine ihn zuerst von A nach O geführt,

---

*) Die Erscheinungen, welche die Materie darbietet, zeigen sich erst unter dem Einfluß der Kräfte, daher wird das Verweilen der Materie an und für sich in demselben Zustand als ihre Trägheit oder ihr Beharrungsvermögen bezeichnet. Als erstes und wichtigstes Gesetz der Mechanik gilt daher: „Ein in Ruhe befindlicher Körper kann sich nicht von selbst in Bewegung versetzen; ein in Bewegung befindlicher Körper kann nicht von selbst diesen Zustand der Bewegung ändern oder aufheben.“ (Gesetz der Trägheit.)

und hierauf der andere in einer mit AS parallelen Richtung von O aus gewirkt haben. Man erhält also den Punct F, wenn man aus der nach Länge und Richtung gegebenen AO und AS das Parallelogramm vollendet. Wir sehen somit, daß Kräfte, welche nach verschiedenen Richtungen wirken, gemeinsam zu einem anderen Ziele führen, als jede für sich, und zwar liegt dieses Ziel der Richtung der kräftigeren Ursache näher, als der schwächeren. Beide Kräfte würden, wie schon bemerkt, einzeln nach einander wirkend zum gleichen Ziele führen, aber in doppelter Zeit. Die Wissenschaft kennt dieses Gesetz unter dem Namen des Parallelogramms der Kräfte. Ein anschauliches Beispiel dieser zusammengesetzten Bewegung gibt uns ein Schiff, welches durch die Ruder quer über einen Fluß, durch dessen Strömung aber flußabwärts getrieben wird. — Wäre die eine der beiden Kräfte, welche auf den Körper wirken, nicht, wie z. B. ein Stoß, eine nur einmal, sondern eine fortwährend wirksame, wie die Schwere, so wäre die durch sie erzeugte Bewegung keine gleichförmige, sondern eine beschleunigte, und die beiden Bewegungen, welche sich zu einer einzigen zusammensetzen, könnten keine gerade Linie, sondern sie müßten eine Curve bilden. Denn die continuirlich wirksame Kraft setzt ihrer Wirkung in jedem Augenblick einen Theil hinzu, der fallende Körper z. B. fängt deswegen mit einer Bewegungsgeschwindigkeit an, welche im ersten Momente selbst gleich Null gesetzt werden muß, von da an aber gleichmäßig wächst, weil die Schwerkraft beständig auf ihn wirkt und jeder neue Zug die früher erlangte Geschwindigkeit des Körpers verstärkt (1). Es sei, Fig. 10, AO die eine der beiden Bewegungen des Körpers, vom Puncte A anfangend und in gleichen Zeiten gleiche Räume 1, 2, 3, 4, 5 . . . beschreibend, also gleichförmig, die andere Bewegung AS sei eine fallende, wie sie durch eine von S aus wirkende Kraft der Schwere erzeugt würde, sie sei also ungleichförmig und wachsend, so daß der Körper in den gleichen auf einander folgenden Zeiträumen die Puncte 1, 2, 3, 4, 5 ... auf AS einnehmen würde, wenn die Schwere allein wirkte. Die Zusammensetzung beider Bewegungen wird ihn folglich am Ende des ersten Zeitraums nach I, am Ende des zweiten nach II u. s. f. führen. Die Puncte I, II, III, IV, V gehören aber nicht etwa einer gebrochenen Linie an, denn dies würde voraussetzen, daß die Bewegung auf AS innerhalb jedes der einzelnen Räume gleichförmig gewesen und nur in den genannten Puncten gleichsam stoßweise gewachsen sei, sondern da die Geschwindigkeit in beständiger Zunahme ist, so muß sich auch die Richtung der durch die Puncte I, II, III, IV, V gezogenen

Linie beständig ändern, sie wird folglich eine Curve sein. Beiläufig bemerkt, geht daraus hervor, daß eigentlich jeder Fall ein Wurf ist.

Ganz dasselbe ist nun der Fall mit dem aufgeworfenen Steine, welcher durch die Schwerkraft zur Rückkehr auf die Erde gezwungen wird; während er fällt, bewegt er sich zugleich nach Osten. Läßt man z. B. einen Stein von der Mastspitze eines segelnden Schiffes herabfallen, so fällt er nicht auf einem entfernten Puncte des Verdeckes, sondern am Maste nieder, weil er die ihm mitgetheilte Bewegung des Schiffes während des Falles beibehält; ebenso wird der, welcher auf einem schnell dahineilenden Dampfwagen einen Ball senkrecht in die Höhe wirft, denselben während des Steigens und Fallens aus dem nämlichen Grunde stets gerade über sich sehen. Schon Newton hat daher Versuche mit fallenden Körpern vorgeschlagen, um durch sie die Rotation der Erde zu erweisen. Man kann dazu einen hohen Thurm, oder einen tiefen Bergwerksschacht wählen. Natürlich ist die Stelle, von welcher man z. B. eine Bleikugel fallen läßt, weiter von der Erdachse entfernt, als der Ort, wo die Kugel aufschlägt. Nehmen wir an, der Versuch werde von der Spitze eines hohen Thurmes gemacht, so muß, wenn die Erde sich von Westen nach Osten um ihre Achse dreht, nothwendig Folgendes stattfinden.

Die Thurmspitze, weil sie von der Drehungsachse entfernter ist, als der Fuß des Thurms, beschreibt in 24 Stunden einen größeren Kreis, muß sich also rascher bewegen, als dieser. Diese raschere Bewegung theilt natürlich die Bleikugel an der Spitze des Thurmes. Wie nun überhaupt die rotirende Bewegung, so muß der Kugel während des Falles auch dieser Ueberschuß verbleiben. Der Fuß des Thurmes bewegt sich daher für sie nicht schnell genug, und die Kugel, welche wegen ihrer zusammengesetzten Bewegung nicht senkrecht fallen kann, muß ihm nothwendig in der Richtung der Rotation, d. i. nach Osten voraus eilen. Es sei, Fig. 11, C der Mittelpunct der Erde, der innere Kreis ein Stück eines Rotationskreises, fs ein in der verlängerten Richtung des Erdhalbmessers Cf stehender Thurm; ff′ sei der Bogen oder Weg, den der Fuß des Thurmes mit der in östlicher Richtung von f nach f′ rotirenden Erde in derselben Zeit beschreibt, während welcher die Thurmspitze den Bogen ss′ durchläuft, und eine frei fallende Kugel von der Thurmspitze nach dem Fuße gelangen würde. Während die Kugel fällt, ist der Thurm in die Lage f′s′ gekommen; seine Spitze bewegt sich aber schneller als sein Fuß, mithin auch die Kugel, die

von der Spitze fällt, und indem sie diese schnellere Bewegung beibehält, kann sie nicht beim Thurmfuße f', sondern muß weiter östlich, in l, aufschlagen. Nun sieht man mit einem Blick auf die Figur, daß aus der Fallgeschwindigkeit sf und der Rotationsgeschwindigkeit ss' der Thurmspitze, als den zwei Seiten des Parallelogramms ss'lf, die Diagonale sl, folglich der Punct l und damit der zugehörige Bogen fl abgeleitet werden kann, wogegen die bloße Rotationsbewegung den mit ss' gleichgradigen Bogen ff' gibt, so daß man also auch den gesuchten Bogen f'l = (fl — ff') kennt.

Benzenberg hat 1801 im Michaelisthurme zu Hamburg und 1803 in einem Schacht des Kohlenwerkes zu Schlebusch directe Versuche mit schweren Kugeln angestellt. Ganz neuerlich hat Reich im Dreibrüderschacht bei Freiberg im Erzgebirge diese interessanten Versuche mit außerordentlicher Genauigkeit wiederholt und, wie Benzenberg, gefunden, daß die Kugeln der senkrechten Fallrichtung östlich vorauseilen. Sie thun dies allerdings nur um wenige Linien, weil die Höhen, von denen wir Körper senkrecht herabfallen lassen können, gegen den Erdhalbmesser ein allzu geringes Verhältniß haben; aber die Berechnung zeigt, daß bei einer Fallhöhe von 10000 Fuß die östliche Abweichung 1076 pariser Linien, oder 7 Fuß 5 Zoll 8 Linien betragen würde. Da sich nun für dieses Voreilen der Bleikugel durchaus keine andere Ursache als die Achsendrehung der Erde denken läßt, so besitzen wir in dem Fall schwerer Körper einen unmittelbaren, erfahrungsmäßig ausführbaren Beweis für die Rotation der Erde in der Richtung von Westen nach Osten.

Einen anderen directen Beweis gibt uns das Foucault'sche Pendel. Es besteht aus einer 40 bis 50 Pfund schweren Metallkugel, welche an einem langen Drahte hängt, der oben an einem möglichst unbeweglichen Puncte befestigt ist. (Foucault hatte bei seinen Versuchen im Pantheon zu Paris eine Metallkugel von 56 Pfund Gewicht angewandt, welche an einem 223 Fuß langen Draht hing.) Wird ein solches Pendel in Schwingung gesetzt, so bewegt es sich unausgesetzt genau in einer und derselben Schwingungsfläche, so lange es nicht durch eine äußere Einwirkung von derselben abzuweichen gezwungen wird. Hiervon kann man sich leicht durch die einfachste Probe überzeugen. Schwingt nun das Pendel anfangs in ganz gerader Richtung vom Beobachter weg und zu ihm hin, und hat sich derselbe die anfängliche Schwingungsebene durch ein sichtbares Zeichen

für das Auge fixirt, so wird er bald wahrnehmen, daß es von diesem Zeichen abweicht und sich in ganz regelmäßigen Abweichungen immer mehr von ihm nach der linken Seite entfernt. Nach einer gewissen Anzahl von Stunden wird diese Abweichung 90° oder einen Viertelskreis betragen, und die Linie, welche das Pendel jetzt beschreibt, durchschneidet die anfängliche in einem rechten Winkel, so daß es vom Beobachter nicht mehr rückwärts und vorwärts, sondern rechts und links seitwärts sich bewegt. Weil aber, wie oben bemerkt, das Pendel in seinem Gange stetsfort dieselbe Schwingungslinie verfolgen muß, so ist es nicht eigentlich das Pendel, das sich vom Beobachter entfernt, sondern der Beobachter selbst mit dem Boden unter sich, mit dem ganzen Gebäude, in welchem er den Versuch macht, kurz mit der ganzen Erde. Es ist die Achsendrehung der Erde, welche hier sichtbarlich, sozusagen handgreiflich demonstrirt wird. Wird die Bewegung des Pendels fortgesetzt, so wird es auch mit seiner gleichmäßigen Seitenabweichung fortfahren, und wie diese in der ersten Anzahl von Stunden einen Viertelskreis betrug, so wird sie in einer folgenden gleichen Stundenzahl einen halben Kreis betragen u. s. w., bis es den Punct wieder erreicht, von dem es ausgegangen war, oder vielmehr, bis der Punct, von dem aus man das Phänomen beobachtet, seinen Kreislauf um das Pendel selbst vollendet hat. — Daß übrigens das Pendel zu seinem scheinbaren Kreislauf mehr Zeit gebraucht, als die Umdrehungszeit der Erde beträgt, hängt von der geographischen Lage des Ortes ab, an welchem der Versuch stattfindet; unter dem Pole würde das Pendel mit der Erde genau in 24 Stunden seinen anscheinenden Kreislauf vollenden, wie der Zeiger einer Uhr; von den Polen gegen den Aequator hin vergrößert sich diese Zeitfrist, aus Gründen, welche sich aus den später folgenden Betrachtungen leicht ergeben werden.

Zu diesen zwei Beweisen, aus denen die westöstliche Umdrehung der Erde als unläugbare Thatsache resultirt, kommt noch ein dritter directer, mit welchem wir uns aber erst im nächsten Abschnitt bekannt machen können. Er beruht auf der Ungleichheit in der Schwingungszahl eines Secundenpendels unter dem Aequator und in höheren Breiten.

Ein vierter Beweis endlich gründet sich auf die Aehnlichkeit der Erde mit den übrigen Planeten. Nach der Erfindung des Fernrohrs war es möglich geworden, die Oberflächen mehrerer Planeten zu beobachten. Jupiter z. B. erscheint darin als ein sphäroidischer Körper, wie die Erde, nur noch

stärker abgeplattet, als diese; man nimmt auf seiner Oberfläche Flecke wahr und kann durch diese mit Gewißheit bestimmen, daß er in viel kürzerer Zeit als die Erde, nämlich in etwa 10 Stunden sich einmal um sich selbst dreht. Eine vernünftige Betrachtung der Dinge wird nun nicht anstehen anzunehmen, daß, da ein so großer Planet, wie Jupiter, sich um seine Achse dreht, dies auch die Erde thue, um so mehr, weil sie ihrem allgemeinen Charakter nach mit Jupiter und den übrigen rotirenden Planeten so sehr viel Aehnliches hat (18).

Constanz der Rotationsdauer und der Lage der Erdachse.

27. Der Anfang der Rotation fällt ohne Zweifel mit der Entstehung des Erdkörpers selbst zusammen (23), und sie hat sehr wahrscheinlich nach Dauer und Richtung mannigfache Veränderungen erlitten, bis sie mit vollendeter Bildung des Erdkörpers eine constante werden konnte. Aber selbst wenn die Rotation von Anfang nicht gewesen wäre, so hätte sie auf physisch nothwendige Weise eintreten müssen. Denn rotirte sie anfänglich nicht, so mußten sich, unter Voraussetzung des Jahresumlaufes, nach und nach zwar alle ihre Theile der Sonne zuwenden und dadurch einen Wechsel von Tag und Nacht haben, aber jede dieser Zeiten mußte dann für jeden Punct ein volles halbes Jahr dauern, und Tag und Sommer, Nacht Winter wurden zu identischen Begriffen. Wo die Sonne eben aufging, fing der Sommer an und war der Moment der größten Kälte, denn eine sechsmonatliche Nacht war vorangegangen; am gegenüberliegenden Untergangspuncte dagegen herrschte beträchtliche Wärme. Kälte aber zieht zusammen und vergrößert dadurch die relative Schwere. Der Punct, wo die Sonne aufgegangen, war folglich schwerer als der entgegengesetzte; er mußte also mehr zur Sonne gravitiren, was eine Rotation, und zwar in dem Sinne, wie sie gegenwärtig stattfindet, zur nothwendigen Folge hatte. — Die Erhaltung der Rotation beruht auf der rotirenden Bewegung selbst, nämlich auf der daraus entstehenden Schwungkraft (23), welche alle Puncte des Erdkörpers von der Achse in einer zu ihr rechtwinkligen Richtung zu entfernen strebt. Wenn z. B. eine Scheibe in schnelle Umdrehung gebracht wird, so erhalten dadurch alle Theile, die nicht in der Linie der Scheibenachse liegen, das Bestreben, sich tangential nach a a fortzubewegen, Fig. 12, Taf. IV. Ebenso bei der rotirenden Erde. Wäre das durch die Schwungkraft erzeugte Bestreben der einzelnen Erdtheilchen, sich tangential

fortzubewegen, größer als der durch die gegenseitige Attraction bewirkte Zusammenhalt derselben, so müßte die Erdmasse zerspringen; weil aber die Attraction größer ist (am Aequator, wo die Schwerkraft am kleinsten, die Schwungkraft am größten ist, beträgt letztere nur etwa $^1/_{289}$ der ersteren), so werden die Erdtheilchen zu einem fortdauernden Kreisen gezwungen, wodurch eben die Rotation erhalten wird.

Die Achsendrehung der Erde zeigt eine ganz vollkommene unveränderliche Dauer und heute noch genau so viele Stunden, Minuten und Secunden als vor Jahrtausenden. Man hat berechnet, daß, wenn seit 2000 Jahren der Durchmesser der Erde, etwa in Folge von Erkaltung, nur um den 100000sten Theil seiner selbst abgenommen hätte, der Sterntag (die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des nämlichen Sterns) seitdem um 1,7 Secunden kürzer geworden sein müßte, während er, den Beobachtungen zufolge, nicht um den hundertsten Theil einer Secunde sich verändert hat. Wird nämlich der räumliche Inhalt eines achsendrehenden Körpers verändert, während sonst alles Andere sich gleich bleibt, so ist die nächste Folge davon eine Aenderung in der Geschwindigkeit und somit in der Dauer dieser Bewegung, und zwar dergestalt, daß sie bei Vergrößerung des Volums langsamer, bei Verkleinerung desselben beschleunigt wird. Soll ferner eine dauerhafte Drehung eines freien Körpers möglich sein, so muß die Drehungsachse durch den Schwerpunct*) des Körpers gehen, so daß jedem der Massentheilchen ein gleichgewichtiges in rechtwinkligem Abstande auf der anderen Seite der Achse entspricht. Da nun die Schwungkräfte sich verhalten, wie die Abstände von der Achse, so sind dieselben auf beiden Seiten gleich und entgegengesetzt, ziehen also die Achse gleich stark nach entgegengesetzten Seiten. Eine solche Achse wird daher durch die Schwungkraft selbst in ihrer Lage erhalten, und um eine solche ist eine constante Drehung möglich, wie dies bei der Erde der Fall ist. Aus dem Gesagten folgt aber, daß Aenderungen in Gestalt und Massenvertheilung eines rotirenden Körpers, mögen sie mit Größenveränderungen desselben verbunden sein oder nicht, eine Veränderung in der Lage der Achse mit sich führen, weil einer bestimmten Gestalt und Massenvertheilung nur bestimmte Achsenrichtungen entsprechen, um welche eine dauerhafte Umdrehung möglich

---

*) Der Schwerpunct eines Körpers, welches auch seine Gestalt sei, ist derjenige Punct, in dem man sich die Summe der abwärts ziehenden Kräfte vereinigt denkt.

ist. Es gehen nun zwar durch vulcanische Ausbrüche, durch Erhebung neuer Vulcane und ganzer Landstriche, durch den Geröllltransport des Meeres, durch menschliche Bauten u. dgl. m. beständig Aenderungen in der Massenvertheilung der Erde vor sich; allein dieselben sind im Vergleich mit der ganzen Erdmasse so unbeträchtlich, daß sie nicht vermögend sind, eine merkliche Aenderung der Achse im Erdkörper hervorzubringen.

Aus allem diesen geht hervor, daß sich, weil seit 2000 Jahren die Dauer des Sterntags und die Lage der Erdpole sich gleich geblieben sind, die Größe, Gestalt und die Massenvertheilung des Erdkörpers nicht wesentlich geändert haben kann. Denn die Unveränderlichkeit dieser Dinge hat die Constanz der Rotationsdauer und der gegenwärtigen Lage der Erdachse zur nothwendigen Folge.

Wenn häufig die Vermuthung ausgesprochen worden ist, daß die Lage der Erdachse in Bezug auf einzelne Oberflächentheile der Erde sich verändert habe, also z. B. der Aequator da gelegen habe, wo jetzt ein Meridian zieht, und die Pole in irgend einem Puncte des jetzigen Aequators; so hat man dabei vergessen, daß schon die Abplattung der Erde eine solche Veränderung unmöglich macht. Bei einer sphäroidischen Gestalt eines rotirenden Körpers ist die kürzeste Achse auch nothwendig die constante Rotationsachse. Würde durch die momentane Wirkung eines fremden Weltkörpers eine augenblickliche Transposition der Erdachse erfolgen, — sie würde sogleich wieder einlenken nach Entfernung jenes Körpers. Nach Bessel's Rechnung müßte man, um die Lage der Achse nur um 1 Secunde (95 pariser Fuß) zu verändern, eine Masse von 114 Cubikmeilen in der dazu geeignetsten Richtung um 90° transponiren, also z. B. den ganzen Himalaya in den Norden Amerikas versetzen. Die gegenwärtige Rotationsachse war dies stets und wird es in alle Zukunft bleiben; sie ist so nothwendig als die Erde selbst.

Was endlich überhaupt die Achsendrehung betrifft, so kennen wir sie an der Erde, der Sonne und an denjenigen Planeten, die im Fernrohr als kleine Scheiben erscheinen; an allen anderen Weltkörpern vermögen wir sie nicht zu beobachten. Allein es ist sehr wahrscheinlich, daß sie, wie die kugelförmige Gestalt, eine allgemeine Eigenschaft aller frei im Raume schwebender Himmelskörper sei.

Der Stern- und Sonnentag.

28. Die Rotationsdauer bestimmt die Dauer des Tages. Die Eintheilung desselben in Tag und Nacht, je zu 12 Stunden, scheint sehr alt zu sein. Später verstand man unter Tag beide, Tag und Nacht zusammengenommen, also einen Zeitraum von 24 Stunden, und die alten Völker ließen den Anfangspunct desselben mit dem Einbruche der Nacht oder bestimmter mit dem Untergange der Sonne zusammenfallen, die natürlichste Zählungsweise in Ermangelung von Uhren. Als man die Ungenauigkeit, welche in dem bald früheren, bald späteren Untergange der Sonne lag, zu fühlen begann, machte man die Mitternacht zum Anfangspuncte des Tages, was im öffentlichen Leben durch ganz Europa fortdauernd geschieht, Italien ausgenommen, wo noch jetzt die Stunden, von Sonnenuntergang anfangend, bis 24 fortgezählt werden. In der Astronomie hat man eine andere Zählungsweise, um die Beobachtungen einer Nacht nicht auf zwei verschiedene Kalendertage verlegen zu müssen. Wenn der bürgerliche Tag von Mitternacht, so wird der astronomische von Mittag an gezählt und in 24 Stunden eingetheilt.

Weil die Zeit, ihrem Begriffe nach, gleichförmig fortschreitet, so erfordert das Maß der Zeit eine ebenfalls gleichförmige Bewegung. Als solche bietet sich die scheinbare tägliche Umdrehung des gestirnten Himmels an, welche, soweit astronomische Beobachtungen reichen, mit vollkommenster Gleichförmigkeit Tag für Tag vor sich geht; denn die in neuerer Zeit aufs Sorgfältigste mit den besten Instrumenten und Uhren angestellten Beobachtungen überzeugen uns, daß diese Umdrehung stets dieselbe bleibt. Zu diesen Beobachtungen bedient man sich des Mittagsrohres (Passageinstrumentes), das zwar nicht geeignet ist, um nach allen Puncten des Himmels zu schauen, wohl aber, um die Stelle eines messingenen, zum Horizont senkrechten Meridians an einem gewöhnlichen Himmelsglobus zu ersetzen, indem die Richtung, mit welcher es sich um seine Achse dreht, genau dem Meridian entspricht. Zum Behuf exacter Messungen sind im Fernrohr nahe am Auge eine Anzahl Spinnenfäden befestigt. Die Uhr geht während der ganzen Zeit, daß man den Meridiandurchgang eines Sternes beobachtet. Man sieht das Bild des Sternes im Fernrohr vorüberwandeln, wobei das Hinweggehen des Sternes über jeden einzelnen Faden genau beobachtet wird; man lauscht auf die Uhr,

welche die Secunden schlägt, und beachtet das Zifferblatt nach den Stunden und Minuten, und bekommt so die Stunde, Minute, Secunde und den Bruchtheil einer Secunde, in welcher der beobachtete Stern an jedem Faden vorübergeht. Wenn man hierauf das Mittel aus diesen einzelnen Durchgängen nimmt, so findet man die Zeit, in welcher der Stern durch den Meridian gegangen ist. Wird dann die Beobachtung des nämlichen Sterns in der folgenden Nacht fortgesetzt, so findet man die Zeit einer einmaligen Umdrehung des gestirnten Himmels.

Weil die scheinbare Bewegung der Sonne, aus Gründen, die wir später werden kennen lernen, nicht gleichförmig ist, so hat man die tägliche Umdrehung des Himmels als Grundmaß der Zeit gewählt, und nennt die Zeit zwischen zwei sich unmittelbar folgenden Culminationen oder Meridiandurchgängen desselben Sterns einen Sterntag. Er wird in 24 gleiche Theile, Sternstunden, getheilt, und enthält in kleineren Theilen 1440 Zeitminuten und 86400 Zeitsecunden. Da der Himmelsäquator in 360 Grade eingetheilt wird und sich in 24 Sternstunden einmal ringsum dreht, so gehen während einer Stunde $\frac{360}{24} = 15$ Grade durch den Meridian. Soviel mal also 15 Grade durch den Meridian gegangen sind, soviel Sternstunden sind verflossen; wenn also 15, 30, 45, 60 u. s. f. und zuletzt 360 Grade des Aequators den Meridian des Beobachters passirt haben, so sind 1, 2, 3, 4 . . und endlich 24 Sternstunden verflossen und umgekehrt, und wenn auf jede Sternstunde genau 15^0 kommen, so kommen auf jede Zeitminute 15 Bogenminuten und auf jede Zeitsecunde 15 Bogensecunden der Rectascension (1).

Schon sehr frühe bediente man sich der Sonnenuhren und Wasseruhren (ähnlich eingerichtet, wie die Sanduhr) als Apparate der Zeitmessung. Als die Wissenschaften unter Arabiens Chalifen erblühten, wurde zuerst das Pendel zur Zeitmessung angewendet, jedoch erst durch Huyghens 1670 als Regulator mit einer Uhr verbunden, die in derselben Periode aus dem unbequemen Räderwerk des zwölften Jahrhunderts sich zur bequemen Taschenuhr umwandelte. In neuester Zeit sind die Uhren in hohem Grade vervollkommnet worden, und weil ohne die Anwendung künstlicher Hülfsmittel die Wahrnehmung von Zeitunterschieden durch unsere Sinne keine sehr feine ist; so hat man Apparate erfunden, welche die Beobachtung

und Notirung der Zeit selbst besorgen, so daß die Ablesung des Resultats nachher mit aller Ruhe geschehen kann. Das Chronoskop z. B. mißt die verstrichene Zeit bis auf $1/_{1000}$ Secunde genau. Für die Beobachtung der Rectascension der Gestirne ist die Sternzeit und die für dieselbe eingerichtete Sternuhr dem praktischen Astronomen von großem Nutzen. Sie weicht erstlich darin von der gewöhnlichen ab, daß ihr Zifferblatt bis 24 geht, also ihren Nullpunct bei dieser Zahl hat, wie der Himmelsäquator bei 360° im Frühlingspuncte. Zweitens ist sie so eingerichtet, daß Hunderttheile einer Sternzeitsecunde durch das Gehör eines geübten Astronomen wahrgenommen werden können. Drittens ist ihr Perpendikel so viel kürzer als der einer mittleren Uhr, daß sie in 24 Stunden zwischen 3 und 4 Minuten schneller geht, um ihren Umlauf genau in einem Sterntag zu vollenden. Viertens fällt ihr Nullpunct, oder der Anfangspunct ihrer Zählung, nicht auf eine bestimmte Tageszeit, sondern im ganzen Jahre immer auf den Zeitpunct, in welchem der Frühlingspunct (0° ♈) durch die Mitte des genau im Ortsmeridian gestellten Mittagsrohres geht. Er verändert sich daher im Laufe des Jahres gegen den Sonnentag ebenso, wie die Culmination des Frühlingspunctes auf andere Tageszeiten fällt, und trifft im Herbstäquinoctium auf die Mitternacht, am kürzesten Tag auf 6 Uhr Abends, im Frühlingsäquinoctium auf den Mittag und am längsten Tage auf 6 Uhr Morgens.

Wenn man die Culminationszeit irgend eines Fixsterns in Grade, Minuten und Secunden verwandelt, so erhält man dadurch die Rectascension dieses Fixsterns. Beobachtet man also die Culmination eines Fixsterns und notirt sich die Zeit, welche die Sternuhr, die mit der großen Weltuhr vollkommen gleichförmigen Gang hält, in dem Augenblicke der Culmination zeigt; so gibt diese in Grade u. s. w. verwandelte Beobachtungszeit sofort die gesuchte Rectascension des beobachteten Sterns. Wird aber die Culmination eines Fixsterns von bekannter Rectascension beobachtet, so muß in dem Augenblicke der Culmination die Uhr die Stunde, Minute, Secunde weisen, welche man erhält, wenn man die genau bekannte Rectascension des beobachteten Sterns in Zeit verwandelt. Es hat folglich der Gebrauch der Sternzeit und der Sternuhren für den praktischen Astronomen den doppelten Nutzen, aus der beobachteten Sternzeit der Culmination eines Fixsterns dessen Rectascension, und umgekehrt, aus der beobachteten Culmination eines Fixsterns von bekannter Rectascension die Sternzeit der Beobachtung zu

finden. Daher werden auch in den meisten Sterncatalogen die Rectascensionen der Fixsterne in Zeit und nicht in Bogen ausgedrückt. Findet sich also in einem Sterncatalog für ein bestimmtes Jahr die Rectascension in Zeit z. B. für den Stern Aldebaran im Stier $4^h\ 25'\ 39'',26$ berechnet, so findet man die Rectascension in Bogen folgendermaßen*):

$4^h \times 15$ geben in Bogen 60^0
$25' \times 15 = 375' \ldots\ 6^0\ 15'$
$39'' \times 15 = 585'' \ldots\ —\ 9'\ 45''$
$0,26'' \times 15 \ldots\ldots\ —\ —\ 3'',90$

$66^0\ 24'\ 48'',90$

Verbindet man damit dann die Declination, welche stets im Bogen angegeben wird, so ist die Stelle des Sterns am Himmel nicht zu verfehlen.

Der Augenblick, wo der Mittelpunct der Sonne genau in den Ortsmeridian tritt, heißt der wahre Mittag des Ortes, zum Unterschied vom mittleren Mittag, von welchem nachher die Rede sein wird, und die Zeit, welche von einem wahren Mittag zum anderen verfließt, heißt der wahre Sonnentag, dessen Anfang und Dauer folglich von dem Stande und Laufe der Sonne abhängt. Er wird ebenfalls in 24 Stunden eingetheilt. Bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts richtete man sich allgemein nach dem wahren Sonnenmittag des Sonnenzeigers und den darnach gestellten Uhren; seitdem aber ist an vielen Orten allmälig die mittlere Zeit eingeführt worden, mit welcher allein vollkommene Uhren übereinstimmen können; und diese ist es auch allein, welche die Astronomen gebrauchen, wenn sie sich der Sonnenzeit zu ihren Bestimmungen bedienen.

Die wahren Sonnentage, und so auch die Stunden, in die sie eingetheilt werden, sind von ungleicher Länge, theils wegen der ungleichen Winkelgeschwindigkeit der Erde im Perihel und Aphel, theils und vorzüglich wegen der Schiefe der Ekliptik, welche die Gradeintheilung dieser und des Aequators nur in den Knotenpuncten ganz übereinstimmend sein läßt. Indessen sind die hieraus entstehenden Veränderungen des wahren Sonnentages

*) Die Angaben der Zeit erkennt man daran, daß der ersten Zahl derselben nicht das Zeichen der Grade (⁰), sondern der lateinische Buchstabe h (hora, Stunde) hinzugefügt ist.

nicht sehr groß, kommen zu bestimmten Zeiten des Jahres regelmäßig zurück und stellen sich am Ende eines jeden Jahres wieder her. Dies hat es möglich gemacht, unter den sämmtlichen veränderlichen Sonnentagen einen mittleren, beständigen Werth aufzufinden, welcher den mittleren Sonnentag (die mittlere Zeit) gibt. Der Unterschied zwischen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt die Zeitgleichung. Der mittlere Sonnentag ist daher die mittlere Zeit einer vollen Rotation der Erde um ihre Achse, bis die Sonne wieder in den nämlichen Meridian eintritt; er ist etwas länger als der Sterntag, weil die Erde wegen ihrer Bewegung gegen die Sonne, welche sie während einer Rotation gemacht hat, im Mittel noch fast 4 Minuten Sternzeit zu derselben hinzufügen muß, um die Sonne wieder in den Ortsmeridian zu bringen. Die mittlere Uhr oder Zeit, d. h. eben diejenige, welche im ganzen Jahr einen durchaus gleichförmigen Gang hat, weicht daher von der Uhr des Sonnenzeigers nothwendig ab, und zwar viermal im Jahre am meisten, nämlich etwa vom 11. bis 24. Februar, 15. Mai, Ende Juli und um den 4. November, und zwar im Februar und November $^1/_4$ Stunde und darüber, Mitte Mai und Ende Juli etwa halb soviel. Es muß daher die mittlere Uhr, um richtig zu gehen, anfangs November über 16 Minuten, und Mitte Mai 5 Minuten später als die Sonnenuhr, dagegen um den 11. Februar $14^1/_2$ und den 21. Juli $6^1/_3$ Minuten früher gehen als diese, woher es kommt, daß im November die Tageshelle am Nachmittage so viel kürzer ist als am Vormittage.

Es ist schon bemerkt worden, daß der Sterntag etwas kürzer ist, als der mittlere Sonnentag. Nach den Berechnungen der Astronomen ist nämlich der Sterntag gleich 23 Stunden, 56 Minuten und 4,09 Secunden, in mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt, und der mittlere Sonnentag gleich 24 Stunden, 3 Minuten und 56,55 Secunden, in Sternzeit ausgedrückt. Zieht man die erstere Angabe von 24 vollen Stunden ab, so bleiben 3 Minuten und 55,91 Secunden, und um so viel mittlere Zeit culminirt jeder Fixstern am nächsten Tage eher als am vorigen. Der Sterntag ist also um 3 Minuten, 55,91 Secunden kürzer als der mittlere Sonnentag, und dieser Umstand macht den Gebrauch der Sternzeit im öffentlichen Leben ganz untauglich, weil der Anfang derselben das ganze Jahr hindurch nach und nach in andere Tages- und Nachtstunden unserer, auf die Bewegung der Sonne gegründeten Zeitrechnung fallen muß.

Kreissystem der Erde.

29. Schon im frühen Alterthume hatte man erkannt, daß eine Erdkunde, welche diesen Namen verdienen soll, nur möglich sei durch Himmelskunde. Von der Erde selbst überschauen wir gleichzeitig nur einen gegen das Ganze völlig unbedeutenden Raum, vom Himmelsgewölbe dagegen die volle Hälfte, ja in günstig gelegenen Erdstrichen schon im Laufe einer einzigen Nacht das Ganze. Der Aufgang und Niedergang der Sonne war es, wornach zuerst die allgemeinsten Richtungen auf der Erde bezeichnet und benannt wurden; Mittag und Mitternacht kamen später hinzu und bildeten die Grundlage der Windrose. Damit war auch der erste Begriff von Parallelen und Meridianen gegeben, selbst bevor noch die Erde als eine Kugel anerkannt war. Die Säulen des Hercules im Westen, Indien im Osten, Thule im Norden und Aethiopien im Süden — dies waren im Alterthume die noch halb fabelhaften Grenzen der Welt, und so wenig man auch über ihre wahre Entfernung Sicheres anzugeben wußte, war doch soviel bekannt, daß die Erstreckung in der Richtung des Parallels größer sei, als in der der Meridiane. Dies ward Veranlassung, jene erstere als Länge, letztere als Breite zu bezeichnen.

Die Ebene der Erdrotation ist die ihres Aequators; wir erhalten daher durch die Achsendrehung für die Erdkugel ganz dasselbe System des Aequators und seiner Pole, wie für den Himmel. Die Erdpole sind vom Aequator 90° entfernt, und sind auch gleichweit von jedem Puncte eines Parallelkreises (Rotationskreises) entfernt. Den Declinationskreisen (1) des Himmels entsprechen auf der Erdkugel die Meridiane, da jeder Ort seinen eigenen Meridian hat. Die Meridiane sind, wie der Aequator, größte Kreise, deren gemeinschaftlicher Durchmesser die Erdachse ist, und die eben daher den Aequator und seine Parallelen rechtwinklig halbiren. Statt der Benennungen Rectascension und Declination hat man sich seit alter Zeit für die Erde Länge und Breite gewählt, und die Längen und Breiten des Himmels beziehen sich folglich nicht auf das nämliche Coordinatensystem, wie die der Erde (1). Die Breite eines Erdortes ist der Bogen des Meridians zwischen dem Aequator und dem Parallel des Erdortes, die Länge eines Erdortes ist der Bogen des Aequators (oder eines Parallels) zwischen dem ersten Meridian und dem Ortsmeridian. Wie durch Rectascension

und Declination eines Gestirns dessen Lage am Himmel genau bestimmt ist, ebenso auch der Ort eines Punctes auf der Erde durch dessen geographische Länge und Breite. Die Breite, welche am Aequator 0 ist und von hier ab nach beiden Polen bis zu 90° fortgezählt wird, fällt mit der Polhöhe(1) zusammen, welche man mit feinen Instrumenten bis auf 1 oder 2 Secunden, ja durch zahlreiche Beobachtungen der Culminationen von Circumpolarsternen bis auf 0,1 Secunden und noch weiter genau findet. Zur Bestimmung der nördlichen Breite leistet also der Polarstern treffliche Dienste. Die Längen haben dagegen keinen von der Natur selbst fixirten Anfangspunct, weshalb zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Nationen auch andere Meridiane als die ersten gesetzt wurden. Am allgemeinsten ist der Meridian, der durch die canarische Insel Ferro geht, im Gebrauch; um ihn bestimmter zu fixiren, ist man übereingekommen, ihn genau 20° westlich vom Meridian der pariser Sternwarte zu legen. Neben diesem ist noch besonders bei den englischen Seefahrern der Meridian der Sternwarte Greenwich im Gebrauche, der 17° 39′ 37″,5 östlich von Ferro, und 2° 20′ 22″,5 westlich vom pariser Meridian liegt.

Die Längengrade können in den Fällen, wo geodätische Messungen unmöglich sind, nicht anders als aus der Vergleichung des Zeitunterschiedes für gleiche, an verschiedenen Orten beobachtete Erscheinungen gefunden werden, wie später (33) näher gezeigt werden soll.

Zweite Abtheilung.

Gestalt der Erde.

Vorstellungen der Alten von der Erdgestalt.

30. Die ältesten Griechen hielten, nach dem oberflächlichen Zeugniß der Sinne, die Erde für eine flache Scheibe, umflossen vom Ocean. Thales (c. 630 v. Chr.) scheint noch ein Schwimmen der Erde auf dem Wasser des Oceans angenommen zu haben; Anaximander (c. 600 v. Chr.) dachte sich dieselbe als einen frei schwebenden Cylinder, dessen Höhe $1/3$ des Durchmessers betragen sollte; nach Anaximenes (c. 540) ruhte sie als eine ebene Scheibe auf der comprimirten Luft; Xenophanes gab ihr Wurzeln, welche sich bis ins Unendliche erstreckten; Plato (geb. 429) hielt sie für einen Würfel, und Aristoteles (geb. 384) endlich folgerte die runde Gestalt derselben aus speculativen Gründen.

Man mag sich wundern, daß ein Volk, wie die Griechen, welches seinem Scharfsinne in anderen Zweigen des Wissens so manches unvergängliche Denkmal gesetzt hat, hinsichtlich der Gestalt der Erde bis auf Aristoteles so gar nicht das Richtige getroffen hat. Dies erklärt sich aber theils aus der Beschränktheit ihrer geographischen Kenntnisse, theils daraus, daß das Auge des Beobachters von Bergspitzen, die eine Höhe von 10000 Fuß haben (höhere hat Griechenland nicht), nur $1/4000$ der Erdoberfläche überblickt, und

in 25000 Fuß Höhe, der größten Erhebung, welche je ein Mensch erreichte, der Halbmesser des Gesichtskreises nur wenig über 43 Meilen beträgt (1). Die Griechen wurden daher erst durch ihre Reisen nach Aegypten auf die Kugelform der Erde geführt, indem ihnen die südlichen Sterne dort höher über den Horizont heraufkamen, und die nördlichen demselben näher rückten. Als nach Alexander's des Großen Zeit die Blüthe Griechenlands, das in Parteikämpfen verblutete, schon gebrochen war, wurde die Akademie zu Alexandrien gegründet, welcher das Verdienst gebührt, den griechischen Geist mit unermeßlichem Zuwachs, in astronomischer Beziehung namentlich, für immer an die Nachwelt gebracht zu haben, wie schon gezeigt worden ist. Allein nach dem Untergang der alten Welt zeigte die Astronomie in Europa gar bald wieder das Bild des traurigsten Verfalls. Die Erde wurde wieder flach, die Sonne ging allen Völkern derselben wieder gleichzeitig auf, und damit die Weltachse sich bei der Umdrehung nicht entzünde, ließ man sie von einem Wasser befeuchtet sein. Erst seit dem 15. Jahrhundert, vornämlich seit Copernicus, ist die Ueberzeugung von der Kugelgestalt der Erde wieder allgemeiner geworden.

Wenn daher gegenwärtig kein Gebildeter mehr an der runden Gestalt der Erde zweifelt, und eine Beweisführung für dieselbe nicht mehr die Bedeutung haben kann, wie früher; so gewährt es doch einen Genuß, alle die Mittel kennen zu lernen, mit deren Hülfe die Wissenschaft nicht nur die Gestalt der Erde im Allgemeinen, sondern ihre von der Kugelgestalt abweichende wahre Gestalt nachgewiesen hat. Ohnehin liegt es in der Absicht dieses Buches, die blos subjective und schwankende Ueberzeugung in diesen Dingen zu befestigen, indem dieselbe auf die sichere Grundlage des objectiven Beweises zurückgeführt wird. Zu diesem Ende mögen daher zuerst die auf unmittelbare Sinneswahrnehmung sich gründenden, und hierauf die streng wissenschaftlichen Beweise folgen.

Beweise für die Gestalt der Erde.

1. Aus der unmittelbaren Wahrnehmung entlehnte.

31. Die Gestalt der Erde läßt sich nicht mit einem Blicke überschauen, denn sie bietet uns, wie wir wissen, selbst von hohen Bergen herab immer nur eine verhältnißmäßig kleine Spanne ihrer Oberfläche zur Uebersicht dar. Dennoch

setzt uns das, was wir von ihr sinnlich wahrzunehmen vermögen, durch unmittelbare Folgerungen daraus in den Stand, zur richtigen Einsicht in ihre Gestalt im Großen und Ganzen zu gelangen. Dazu dient zunächst der scheinbare Horizont (1), d. h. derjenige Theil der Oberfläche der Erde, den wir auf Bergspitzen, oder in weiten Ebenen und auf offener ruhiger See überblicken, und welcher uns immer als eine kreisförmige Fläche (Horizontalebene) erscheint, begrenzt von dem Gewölbe des Himmels, das wegen seiner unermeßlichen Entfernung überall gleichen Abstand vom Beobachter hat und auf dem Horizonte zu ruhen scheint. Auf weiten Land- und Wasserflächen z. B. lehrt uns der Augenschein, daß die Puncte, in denen die vom Himmel an unser Auge gelangenden Lichtstrahlen an der undurchsichtigen Erdoberfläche hingleiten, in einer Kreislinie aneinander gereiht liegen, wodurch der kreisförmige Horizont entsteht, in dessen Mittelpunct sich stets der Beobachter befindet, mag er sich bewegen, wohin er immer will. Die Ursache dieser Erscheinung kann nicht in der Natur der Lichtstrahlen, sondern sie muß in der Gestalt des Erdkörpers gesucht werden, an welchem jene hingleiten, und indem sie dies thun, ihre Berührungspuncte mit der Erde in Kreisform an einander reihen. Berücksichtigen wir nun, daß der Halbmesser der Horizontfläche bei einer Höhe des beobachtenden Auges von 5 — 6 Fuß kaum zwei Stunden beträgt, während der Beobachter Gegenstände von einigermaßen beträchtlichem Umfange und geringer Höhe in viel größerer Entfernung mit unbewaffnetem Auge zu sehen vermag; so müssen wir daraus den Schluß ziehen, daß die Erdoberfläche wenigstens von dem Kreise an, wo die Lichtstrahlen sie berühren, ringsum nach unten gebogen oder gekrümmt sei, und dadurch das Sehen der Gegenstände, welche hinter dem Gesichtskreis der Horizontebene liegen, unmöglich mache. Diese Krümmung muß um so gleichförmiger sein, je genauer die Horizontlinie der Kreisform entspricht. Nähert man sich z. B. vom Meere her einer gebirgigen Insel, Fig. 13, Taf. VI, so erblickt man von a aus einzig die Spitze des Berges x; nähert sich das Schiff der Insel bis a′, so sieht man nicht nur den Abhang des Berges x, sondern auch die Spitze des niedrigeren Berges x′ im Vordergrunde der Insel; erst bei noch größerer Annäherung wird die ganze Insel sichtbar. In der Richtung ax erscheint also, vom Schiffe aus gesehen, zuerst die Spitze des Berges x über dem Horizonte, als tauchte sie aus dem Meere auf, allmälig, wenn man näher kommt, der Abhang desselben, und erst zuletzt die breite Grundlage, die Insel, auf welcher sich der

Berg erhebt. Die Erscheinung ist dieselbe im Fernrohr, wie mit unbewaffnetem Auge. Entfernt sich das Schiff von der Insel, so verliert man zuerst das breite Vorland aus den Augen, und sieht die schmale Bergspitze am längsten, bis zuletzt auch diese unter dem Meereshorizonte verschwindet und selbst mit Hülfe des besten Fernrohrs nicht mehr gesehen werden kann. Wie erklären wir uns nun diese Erscheinung? Sie wäre nicht möglich, wenn die Erde eine flache Ebene wäre; denn alsdann müßte man von dem Berge alle Theile zugleich und mit der Bergspitze die ganze Insel erblicken oder aus dem Auge verlieren, wenigstens müßte man die Theile von größerem Volum zuerst und länger sehen, als die von geringerem, und überdies würden Berge in weit größeren Entfernungen sichtbar sein, als wirklich der Fall ist. Der über 11000 Fuß hohe Pic de Reyde auf Teneriffa, der, wenn die Erde eine flache Scheibe wäre, bei reiner Luft auf mehrere hundert Meilen dem bewaffneten Auge sichtbar bliebe, verschwindet schon in einer Entfernung von 29 Meilen selbst in den besten Ferngläsern. Es bleibt daher zur Erklärung dieser Erscheinung nur die schon oben ausgesprochene Annahme übrig, und weil die Meeresfläche über Zweidrittheile der gesammten Erdoberfläche ausmacht, und die Flachländer, wo die Erscheinung dieselbe ist, wie auf dem Meere, einen größeren Raum einnehmen, als die Gebirgsländer, so berechtigt uns die Allgemeinheit dieser Erscheinung zu Wasser und zu Lande zu dem Schlusse, daß die Krümmung der Erdoberfläche überall stattfinde, daß also die Erde eine abgerundete Gestalt haben müsse. Zu demselben Ergebniß führt uns die Beobachtung, daß überall auf Land- und Meeresflächen der kreisförmige Horizont in stets unveränderter Gestalt sich nach allen Richtungen mit dem Beobachter dergestalt fortbewegt, daß dieser sich überall in seinem Mittelpunct befindet, was nur auf einem runden Körper möglich ist.

Zwei Beobachtungen anderer Art führen nicht nur zu demselben Resultat, sondern bringen uns auch um einen entscheidenden Schritt weiter. Bekanntlich sind in den weiter östlich gelegenen Ländern seit der Zeit, da ihnen am Morgen die Sonne über dem Horizonte erschienen ist, schon mehrere Stunden verflossen, drei z. B., wenn sie 45° östlicher liegen, wenn sie denen, welche mehr westlich liegen, eben erst aufgeht. So geht den Chinesen die Sonne unter, während es in Deutschland Mittag ist, und die Freistaaten am Mississippi noch einige Zeit warten müssen, bis ihnen die Sonne den neuen Tag bringt. Offenbar geht also die Sonne den östlichen Ländern früher auf, als den westlicher gelegenen. Wenn die Erde eine flache Ebene

wäre, so verhielte sich dies ganz anders; denn alsdann müßten im Momente des Sonnenaufganges die Lichtstrahlen wegen ihrer außerordentlichen Geschwindigkeit gleichzeitig die ganze Ebene bescheinen, es müßten alle Orte der Erde Morgen haben, statt daß sie in demselben Momente in Wirklichkeit verschiedene Tageszeiten zeigen. Dies läßt sich nur durch eine bogenförmige Krümmung oder Wölbung in der Richtung von Osten nach Westen rings um die Erde erklären, und zwar muß diese Wölbung eine im Allgemeinen vollkommen gleichförmige sein, weil gleichen Längen allemal gleiche Zeitunterschiede entsprechen. Der östlich in A Wohnende, Fig. 1, Taf. VII, sieht die Sonne, die sich in dem Bogen SS′ von Osten nach Westen zu bewegen scheint, früher aufgehen, als der weiter westwärts in B Wohnende, ihre Strahlen treffen in der Richtung Sx seine Horizontfläche, wenn die Gegend um B noch in Dunkel gehüllt ist. Erst wenn die Sonne in ihrer scheinbaren Bahn von S nach S′ gerückt ist, bescheinen ihre Strahlen S′x′ die Horizontfläche von B. Weil sie nun, um von S nach S′ zu gelangen, eine gewisse Zeit gebraucht, so muß B seinen Tag später anfangen, als A. Fig. 2 dient zur näheren Versinnlichung dieser Zeitdifferenzen auf der Erde.

Man beobachtet zweitens eine Veränderung des Standortes der Gestirne, wenn der Beobachtungsort in der Richtung von Norden nach Süden oder umgekehrt geändert wird. Reist man von Norden nach Süden, so bemerkt man nicht nur, daß die Gestirne auf der Südseite des Himmels in dem Maße höher steigen, als man weiter vorrückt, sondern daß auch Gestirne, welche man zu Anfang der Reise am südlichen Himmel gar nicht wahrgenommen, beim weiteren Vorrücken zuerst am Horizonte sichtbar werden und hierauf immer höher emporsteigen. Umgekehrt sinken Gestirne, welche man Anfangs am nördlichen Himmel hoch über dem Horizonte sah, beim Vorrücken nach Süden immer tiefer gegen denselben, bis sie zuletzt ganz unter ihm verschwinden. So steht z. B. der Polarstern, der unter dem 45° N. Br. um eben so viele Grade über dem nördlichen Horizonte steht, unter dem Aequator genau im Nordpunct des Horizontes. Die Zu- und Abnahme der horizontalen Höhe der Gestirne steht nun aber mit der Größe des zurückgelegten Weges in einem so steten Verhältnisse, daß, wenn man eine bestimmte, immer gleiche Anzahl von Meilen südwärts vorrückt, ein Stern am nördlichen Himmel genau um eben so viel gegen den nördlichen Horizont herabsinkt, als ein gegenüber liegender südlicher Stern über den südlichen Horizont emporsteigt. Wäre die Erde eine Fläche, so würde ein

zu Anfang einer solchen Reise am nördlichen Himmel beobachteter Stern unseren Blicken nie entschwinden, und ein am südlichen Himmel nicht gesehener Stern könnte nie sichtbar werden, noch viel weniger immer höher über den Horizont emporsteigen. Will man sich daher diese scheinbare Ortsveränderung der Gestirne erklären, so ist sie nur möglich durch die Annahme einer Krümmung oder Wölbung der Erde in der Richtung von Süden nach Norden, und zwar muß dieselbe eine gleichförmige sein, weil die Zu- und Abnahme der horizontalen Sternhöhe dem zurückgelegten Wege überall proportional ist.

Es ergibt sich also aus diesen beiden Beobachtungen eine allseitige gleichförmige Krümmung der Erde in den zwei zu einander senkrechten Richtungen Ost-West und Nord-Süd, woraus mit Recht der Schluß gezogen wird, daß die Erde die Gestalt des einfachsten aller Körper habe, d. h. daß sie eine Kugel sei. Geleitet durch die Ueberzeugung von der Kugelform der Erde hat Columbus Amerika entdeckt und sind die zahlreichen Erdumsegelungen unternommen worden, die seit Ferd. Magelhaens und Pigafetta bis auf unsere Tage ausgeführt worden sind.

2. Streng wissenschaftliche Beweise.

a. Theoretische.

32. Unter diesen Beweisen setzt einer voraus, daß uranfänglich die Theile auch der jetzt festen Erde in gewissem Grade verschiebbar, wie in einer Flüssigkeit mit einander verbunden waren. Von dieser Voraussetzung ist Laplace ausgegangen, und die Geologie lehrt, daß dieser flüssige Zustand der Erde ein heißflüssiger gewesen sein müsse, weil sämmtliche Bestandtheile der festen Erdkruste, soweit unsere jetzigen physikalischen und chemischen Kenntnisse reichen, durch nichts anderes, als durch Wärme in den flüssigen Zustand versetzbar sind. Weil nun mit dieser Annahme die Zunahme der Erdwärme nach der Tiefe zu, die heißen Quellen und die heißflüssigen Eruptionsmassen der Vulcane ganz übereinstimmen, so gewinnt sie dadurch um so mehr an Wahrscheinlichkeit. Befand sich daher unsere Erde ursprünglich in einem flüssigen Zustande, so konnte sie zufolge der Molecularanziehung*) keine andere als die Kugelgestalt annehmen. Die Theilchen

*) Molecularanziehung ist gegenseitige Anziehung der kleinsten Theile der Materie. Da die kleinsten Theilchen der Körper auch Molecüle genannt werden, so erhielten

eines flüssigen Körpers können nämlich der Anziehung viel eher Folge leisten, als die eines starren. Denken wir uns daher die ursprünglich flüssige Erde frei im Raume schwebend, so wird, da in ihr die Kraft der Anziehung von jedem Theilchen aus mit gleicher Stärke nach allen Richtungen wirkte, die Gestalt, die sie annahm, das nothwendige Product dieser Anziehung sein. Denn wurde jedes Theilchen der flüssigen Erdmasse nach allen Richtungen von allen übrigen angezogen, während es selbst ebenfalls nach allen Richtungen alle übrigen anzuziehen bestrebt war, so wird es auch mit allen übrigen sich haben verbinden wollen, und dies, soweit es immer möglich war, gethan haben. Die natürliche Folge davon mußte sein, daß so wenige Theilchen als möglich bloß lagen, weil alle entblößt liegenden nach einer Richtung nicht mit den anderen verbunden sind. Dies ist aber der Fall mit allen Theilchen, welche die Oberfläche bilden. Es werden also nothwendig in der flüssigen Erdmasse so wenig Theilchen als möglich sich bloß gelegt, d. i. die Oberfläche gebildet haben, woraus folgt, daß die Erde sich zu einem Körper mit der möglichst kleinsten Oberfläche formte. Unter allen Körpern hat aber bei gleicher Masse die Kugel die relativ kleinste Oberfläche, es konnte daher der Erdkörper bei seinem ursprünglichen Flüssigkeits- und Mischungszustande, so lange er allein unter dem Einfluß der Molecularanziehung stand, keine andere als die Kugelgestalt annehmen. Quecksilber, das sich kugelt, Wasser, das, frei in der Luft schwebend, sich zu Tropfen bildet, oder auf bestaubtes Papier geworfen, sich zu Kügelchen formt, sind alles Beispiele, die uns lehren, wie sich die Molecularanziehung in flüssigen Körpern kund gibt. Sie muß, wenn sie allein wirksam ist, und unter der Bedingung des Gleichgewichts und der Gleichförmigkeit der einzelnen Theilchen, der Gesammtheit aller unter und gegen einander sollicitirten Molecüle einer flüssigen Masse nothwendig die vollkommene Kugelgestalt verleihen.

Dies wäre unbestritten der Fall mit unserer Erde, wenn sich keine fremdartige Kraft störend in das Wechselbestreben ihrer Theilchen zur Erlangung des angemessensten Gleichgewichtszustandes eingemischt hätte. Allein mit der Rotation wurden neue Kräfte in der Erde wach gerufen, welche die Kugelgestalt veränderten. Es ist die Schwungkraft (Flieh- oder Centrifugalkraft), mit welcher wir schon früher (23 und 27) bekannt geworden

---

die Kräfte, deren Wirkung sich nur auf die nächstliegenden Theilchen, also auf unmerklich kleine Entfernungen erstreckt, den Namen der Molecularkräfte.

sind. Wir haben dort gesehen, wie durch sie die Theilchen eines rotirenden Körpers das Bestreben erhalten, sich tangential von der Drehungsachse zu entfernen, und weil die Ursache, welche den einzelnen Theilchen dieses Bestreben verleiht, sich erst aus dem Schwunge entwickelt, so hat man sie deshalb Schwungkraft genannt. Daß aber die Rotation und die daraus sich entwickelnde Schwungkraft mit der Veränderung der Kugelgestalt im Zusammenhang stehen, davon überzeugen uns einfache Versuche. Wenn wir irgend etwas Kreisförmiges nehmen, dessen Gestalt sich verändern läßt, wenn wir z. B., wie die sogenannte Centrifugalmaschine, Fig. 3, Taf. VII zeigt, einen elastischen Messingreifen dergestalt befestigen, daß wir ihn in eine schnell rotirende Bewegung versetzen können, so wird der Reifen, sobald die umdrehende Bewegung erfolgt, ungefähr die in der Figur gezeichnete Form annehmen. Obgleich nun eigentlich die Schwungkraft zunächst in der Richtung der Tangente wirkt, so bewirkt sie doch eine wirkliche Verminderung der Ziehkraft der Erde, welche die schwingenden Theilchen fortwährend zusammenhält; sie sucht sie ebenso vom Mittelpunct der Bewegung wegzuziehen, wie die Attraction sie nach demselben hinzieht. Wenn der Bogen mp, Fig. 4, welchen ein bewegter Körper m z. B. in einer Secunde durchläuft, sehr klein ist, so wird, wie die Mechanik lehrt, der Effect der Schwungkraft durch den Sinus versus mn dieses Bogens gemessen, d. h. so wird die Vergrößerung der Entfernung vom Mittelpunct C, welche der bewegte Körper in derselben Zeit durch die Schwungkraft, wenn sie allein wirkte, erhalten würde, so groß sein, wie der Sinus versus des durchlaufenen Bogens.

Wenden wir nun dieses auf den Erdball an, so wissen wir schon, daß derselbe rotirt, und es kommt daher bloß darauf an, den Einfluß kennen zu lernen, welchen die aus der Rotation sich entwickelnde Schwungkraft auf die Gestaltsveränderung der Erdkugel ausüben muß*). Nach einem allgemeinen Gesetz der Centralbewegung verhalten sich bei gleichen Rotationszeiten die Schwungkräfte wie die Rotationshalbmesser. Nun sind die Rotationszeiten aller Theile der flüssigen Erdkugel einander gleich, denn jeder

*) In jeder Physik sind die Gesetze der Bewegung, welche durch momentan und stetig wirkende Kräfte erzeugt wird, abgehandelt, wovon auf unsern Fall leicht Anwendung gemacht werden kann. Ich erlaubte mir aber in obiger Entwickelung größtentheils B. Cotta zu folgen, weil es mir scheint, daß seine Auseinandersetzung so klar und verständlich sei, daß sie nichts zu wünschen übrig lasse.

Theil wird in 24 Stunden einmal um ihre Achse herum geführt. Folglich wird sich die Schwungkraft eines jeden Theils verhalten, wie sein Abstand von der Drehungsachse (27). Wäre uns also die absolute Größe der Schwungkraft für irgend einen bestimmten Theil seiner Lage nach bekannt, so würden wir auch die Schwungkraft jedes anderen Theils zu bestimmen vermögen. Es läßt nun aber der Satz, daß bei sehr kleinen Bögen der Effect der Schwungkraft durch den Sinus versus des Bogens ausgedrückt wird, auf eine sehr einfache Weise die Größe dieser Kraft, z. B. für einen unter dem Aequator gelegenen Theil, berechnen. In einer Zeitsecunde durchläuft nämlich jeder Punct des Aequators einen Bogen, dessen Winkelmaß sehr nahe $^1/_4$ Bogenminute oder 15 Bogensecunden beträgt, und welcher also hinreichend klein ist, um eine unmittelbare Anwendung jenes Satzes zu gestatten. Unter Zugrundlegung des Aequatorhalbmessers der Erde, den man durch Messungen kennt, wird aber der Sinus versus dieses kleinen Bogens = 0,0521 par. Fuß, und um soviel würde sich also irgend ein Theil des Aequators vom Mittelpuncte der Erde in einer Secunde entfernen, wenn derselbe dem Zuge der Schwungkraft Folge leisten könnte. In derselben Zeit würde er aber, wenn er sich frei bewegen könnte, durch die Schwerkraft 15,05 par. Fuß tief fallen, oder dem Mittelpunct der Erde näher gebracht werden. Folglich verhält sich unter dem Aequator die Schwungkraft zur Schwerkraft wie 0,0521 : 15,05 oder wie 1 : 289 (27). Die Schwungkraft ist also für jedes Element des Aequators = $^1/_{289}$ der Schwerkraft. Da nun unter dem Aequator die irdische Schwungkraft der Schwerkraft gerade entgegengesetzt ist, so wird auch dort die Schwere genau um soviel vermindert werden, und daher ein jeder Theil des Aequators in Folge der Rotationsbewegung um $^1/_{289}$ leichter sein, als er ohne diese Bewegung sein würde. Angenommen nun, der rotirende Erdball habe ursprünglich aus einer homogenen und nicht compressibeln Flüssigkeit bestanden, so wird man die Gestaltsveränderung der Erde wenigstens einigermaßen zu bestimmen vermögen, wenn man den Gleichgewichtszustand zweier dünnen Säulen dieser Flüssigkeit untersucht, deren eine in den Polardurchmesser, die andere in den Aequatorialdurchmesser fällt, während beide im Mittelpunct der Erde mit einander communiciren. Wäre die Erdkugel unbewegt, so würden die beiden Säulen PC und AC, Fig. 5, gleich schwer und also auch gleich lang sein. Weil sich aber die Kugel um ihre Achse PP′ dreht, so werden alle Theile der flüssigen Aequatorialsäule AC durch die Schwungkraft an Schwere verlieren, und zwar um

so mehr, je weiter sie vom Mittelpunct C entfernt sind, und jeder einzelne genau im Verhältniß seiner Entfernung. Das äußerste in A verliert $^1/_{289}$, das mittlere in B $^1/_{578}$, das innerste in C verliert gar nichts von seiner Schwere, so daß also überhaupt die Schwereverluste für die von C bis A hinter einander liegenden Theile der Flüssigkeit eine arithmetische Reihe bilden und die ganze Flüssigkeitssäule AC überhaupt $^1/_{578}$ ihrer Schwere einbüßen muß. Die Flüssigkeitssäule PC dagegen verliert gar nichts von ihrer Schwere, weil sie in der Rotationsachse selbst liegt und folglich dem Einflusse der Schwungkraft gar nicht ausgesetzt ist. Es kann also in der rotirenden Kugel zwischen beiden Säulen, wenn sie gleich lang bleiben sollen, kein Gleichgewicht mehr stattfinden, weil die Flüssigkeit in der Polarsäule schwerer ist, als in der Aequatorialsäule; vielmehr kann das gestörte Gleichgewicht nur dadurch wieder hergestellt werden, daß die Aequatorialsäule auf Unkosten der Polarsäule in demselben Verhältniß an Länge zunimmt, in welchem sie an Schwere abgenommen hat. Folglich müssen beide in der ruhenden Kugel gleich lange Säulen in der rotirenden in das Verhältniß von 578 : 577 treten. Wenn daher jene Modification der Wirkungen der Schwere durch die Rotationsbewegung mit dem ursprünglichen Zustande der Erde vor der Erhärtung ihrer verschiedenen Bestandtheile, wie nicht zu bezweifeln ist, zusammentraf; so mußte davon ein gürtelartiges Aufschwellen der Erdmasse in der Aequatorialzone, wo die Schwungkraft am stärksten ist, und in der Polarregion, wo die Schwere am ungestörtesten wirken kann, eine Annäherung der Massentheile der Erde gegen den Mittelpunct der ziehenden Kraft die nothwendige Folge sein. Die Erde erhielt die Gestalt eines Ellipsoides, dessen Meridiane Ellipsen und dessen Aequator und Parallelen Kreise sind, und die Abplattung des Ellipsoides, d. i. der Unterschied des Aequatorial- und Polardurchmessers, in Theilen des ersteren ausgedrückt, müßte $^1/_{578}$ betragen, vorausgesetzt, die Erde habe ursprünglich aus einer homogenen und nicht compressibeln Flüssigkeit bestanden. Diese Bedingungen konnten nun aber in der Wirklichkeit nie erfüllt gewesen sein, weshalb obiges Zahlenresultat nicht richtig ist. Nichts desto weniger folgt die Abplattung der Erde mit Nothwendigkeit aus der entwickelten Theorie. Wird aber das Problem einer, von beschränkenden Voraussetzungen möglichst befreiten Untersuchung unterworfen, so ergibt sich für das ursprüngliche Erdellipsoid, oder für dasselbe, seitdem die Achsendrehung der Erde dauerhaft geworden ist, eine

Abplattung = $^1/_{289}$, also genau so groß, wie das Verhältniß der Schwungkraft zur Schwerkraft am Aequator. Dieser Werth stimmt mit dem durch Pendelversuche und Gradmessungen bestimmten der Abplattung nahe überein. Fig. 6, b mag zur Versinnlichung des Gesagten dienen.

Aus dem zuletzt angegebenen Werthe ergibt sich also, daß die Erde von der Gestalt einer Kugel zwar abweicht, aber einer solchen doch sehr ähnlich ist. Uebrigens ist, wie wir sehen werden, ihre Gestalt auch mit dem Rundellipsoid noch nicht genau bezeichnet, vielmehr bleiben noch zahlreiche Abweichungen zurück, deren Ursache zum Theil in den geologischen Kräften zu suchen ist, deren Betrag indessen die Abplattung nicht erreicht.

Weil mit der Rotation eines Körpers dessen Abplattung in nothwendigem Zusammenhange steht, so muß letztere um so stärker sein, je schneller die Rotation ist. Würde die Erde schneller rotiren, als der Fall ist, so wäre ihr Abplattungscoefficient größer. Daher finden wir bei sehr schnell rotirenden Planeten auch große Abplattungswerthe; bei Jupiter z. B., dessen Achsendrehung keine 10 Stunden beträgt, übertrifft der Aequatorialhalbmesser den Polarhalbmesser um 1494 Meilen, oder die Abplattung ist ungefähr $^1/_{15}$. Die Sonne dagegen, die viel langsamer rotirt, als die Erde, zeigt darum auch nur eine unmerkliche Abplattung.

Es ist im Obigen, um die Abplattung aus theoretischen Gründen zu erklären, ein primitiver Flüssigkeitszustand der Erde vorausgesetzt worden. Ein Engländer, Spencer, hat aber gezeigt, daß man hinsichtlich der Gestalt der Erde zu einem ähnlichen Resultate, wie das obige, gelangen würde, wenn sie sich anfänglich auch nicht in einem wirklich flüssigen Zustande befunden hätte. Er sagt (nach Cotta): Flüssig und fest sind nur relative Begriffe, abhängig einigermaßen von dem Volumen der Masse. Eine Erdscholle von einem Cubikfuß erscheint fest (nicht flüssig), man kann sie als Würfel ausstechen, und sie behält ihre Gestalt. Wollte man aber einen Würfel derselben Erde von 100000 Cubikfuß Inhalt herstellen, er würde sogleich zerfallen, d. i. zerfließen. In dieser Weise wirken Schwere und ebenso Schwungkraft auf alle sehr großen Massen gestaltverändernd, ihre Wirkung wächst mit der Masse, also cubisch, während die Cohäsion der Theile dieselbe bleibt, ihr Widerstand also quadratisch mit dem Querschnitt wächst. Es muß deshalb unter allen Umständen durch Zunahme der Masse die cubisch wachsende Wirkung den nur quadratisch wachsenden Widerstand erreichen und überschreiten können. Die festeste Substanz, welche wir kennen,

würde, in eine so schnelle Umdrehung als die Erde versetzt, schon bei $^1/_{100000000}$ des Erdvolumens nachgeben und sich abplatten. In diesem Sinne ist also die Erde noch jetzt flüssig und muß in Folge der Rotation eine Gestalt annehmen, deren Aequatorialdurchmesser größer ist, als der Polardurchmesser.

b. Factische Beweise.

33. Schon in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurde in der französischen Akademie die Muthmaßung ausgesprochen, daß bei Annahme einer Rotation die beschleunigende Kraft der Schwere vom Aequator (wo sie am kleinsten) nach den Polen hin (wo sie am größten) zunehmen müsse. Später schlossen Huyghens und Newton aus den oben entwickelten theoretischen Gründen die sphäroidische Gestalt der Erde in Folge der Rotation. Es galt nun die fernere Aufgabe, die Folgerungen der Theorie an der Erfahrung zu prüfen und durch Messungen sicher zu stellen. Beweise für die Abplattung sind natürlich zugleich Beweise für die Rotation, da jene das Werk von dieser ist; sie sollen aber mehr leisten als dieses, und zur Bestimmung des wahren Verhältnisses der beiden Erddurchmesser, mithin der wirklichen Gestalt der Erde verhelfen. Die Mittel, deren man sich zu diesem Zwecke bedient hat, sind Gradmessungen und Beobachtungen der Pendelschwingungen unter dem Aequator und den höheren Breiten. Wir wollen mit den letzteren beginnen.

Der Fall der Körper senkrecht zur Erdoberfläche ist, wie wir aus der Einleitung (2) wissen, eine Wirkung der Schwere, welche schon von Galiläi ihrer Größe nach bestimmt worden ist. Wir können den Fall der Körper als ein Experiment behandeln und im Einzelnen nach Belieben abändern; wir sind weder der Zeit noch dem Orte nach erheblich beschränkt und können günstige Umstände beliebig herbeiführen, ungünstige entfernen und vermeiden, wenigstens bis auf einen gewissen Punkt. Dadurch werden wir befähigt, Resultate von bedeutend größerer Genauigkeit und Sicherheit zu liefern, als außerdem zu erhalten gewesen wären. Allein diese Genauigkeit würde gleichwohl nicht erreicht werden können, wollte man die Länge des Raumes, durch welchen ein Körper in einer gegebenen Zeit fällt, oder auch umgekehrt die Dauer der Zeit, welche ein Körper gebraucht, um einen gegebenen Raum freifallend zu durchmessen, direct beobachten, weshalb auch in der That nur wenige Beobachtungen dieser Art angestellt sind. Daher hat man statt der Fallbeobachtungen die einer ungemein hohen Genauigkeit fähigen

Pendelbeobachtungen substituirt und diese aus jenen hergeleitet. Der Apparat, den man dabei anwendet, ist das Secundenpendel, das in einer Minute genau 60 Schwingungen macht. Beobachtungen haben die absolute Länge des Pendels, das Secunden schlägt, mit einer Schärfe ergeben, die keine auf $^1/_{1000}$ steigende Unsicherheit mehr zuläßt.

Jeder schwere Körper, wie verschieden auch seine Structur, seine chemische Zusammensetzung, sein specifisches und absolutes Gewicht und seine äußere Gestalt sein möge, und der an einem Faden aufgehängt ist, stellt überhaupt ein Pendel vor.

Bringt man das Pendel aus der senkrechten, nach der Erdmitte hinweisenden oder scheitelrechten Lage fl, Fig. 6, Taf. VII, so daß etwa der schwere Körper sich bei b befindet, und überläßt ihn dann sich selbst, so fällt er, gezogen von der Schwere, nach dem Puncte l und steigt alsdann auf der entgegengesetzten Seite bis a, welches um ein Unmerkliches niedriger liegt, als b. Bei a angekommen fällt er wieder und steigt auf der anderen Seite, ohne jedoch genau wieder die Höhe von b zu erreichen, und in solcher Weise dauern die Bewegungen, oder die Schwingungen des Pendels fort, indem jede folgende unmerklich kleiner ist, als die vorhergehende, bis das Pendel endlich zur Ruhe gelangt. Die Schwingungen des Pendels sind offenbar nichts anderes, als von der Schwere abhängende, etwas modificirte Fallbewegungen. Bei b einerseits von der Erde angezogen, andererseits durch den Faden in unveränderlicher Entfernung von dem Aufhängepunct f gehalten, entsteht aus diesen beiden Kräften ein kreisförmiger Weg oder Bogen, in welchem das Pendel mit einer durch die Schwere veranlaßten, zunehmenden Geschwindigkeit nach dem am tiefsten liegenden Puncte l fällt. In dieser, der Richtung der Schwerkraft entsprechenden Lage von fl würde das Pendel in Ruhe verharren, wenn es nicht durch den Fall von b nach l eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hätte, welche es nöthigt, mit dieser durch den Einfluß der Schwere stets verminderten Geschwindigkeit auf der anderen Seite so lange zu steigen, bis letztere überwunden ist, worauf das Pendel von dem Puncte an wieder fällt. So würden seine Schwingungen ewig fortdauern, wenn nicht die Reibung am Aufhängepunct und der Widerstand der Luft entgegen wirkten und endlich die Ruhe herstellten. — Die Gesetze, welche man über Pendelschwingungen gefunden hat, gelten in aller Strenge nur dann, wenn die Bewegung des Pendels im luftleeren Raume erfolgt, keine Friction des Aufhängepunctes stattfindet, und überdies das Gewicht

des Pendelfadens gleich Null ist — unerfüllbare Bedingungen, die aber der Genauigkeit des Pendelversuchs keinen Eintrag thun, sondern nur Verbesserungen nöthig machen, denen die Rechnung vollständig Genüge leistet. Jene Gesetze sind folgende:

1) Die einzelnen Schwingungen eines und desselben Pendels sind von gleicher Dauer, mag nun der Ausschlag oder der Schwingungsbogen größer oder kleiner sein, vorausgesetzt, daß der Bogen ab überhaupt nicht über 5 Grade beträgt.

2) Zwei Pendel von gleicher Länge machen in ein und derselben Zeit eine gleiche Anzahl von Schwingungen.

3) Zwei Pendel von ungleicher Länge machen in ein und derselben Zeit eine ungleiche Zahl von Schwingungen, und zwar macht das längere weniger, als das kürzere. Die Zeitlängen der Pendelschwingungen hängen also von der Pendellänge ab.

4) Da das Gewicht des Pendels im Vergleich zur Erdmasse stets verschwindend klein ist, so schwingt das Pendel bei gleicher Erdanziehung um so schneller, je kürzer es ist, und bei gleicher Pendellänge um so langsamer, je geringer die Erdanziehung ist. Die Zeitlängen der Pendelschwingungen hängen also nicht blos von der Pendellänge, sondern auch von der irdischen Schwere ab. Wirkt daher auf der Erdoberfläche die Anziehungskraft an einem Orte stärker oder schwächer, als an einem anderen, so muß ein richtig gehendes Pendel diesen Unterschied anzeigen. Und sollen die Pendelschwingungen an dem Orte, wo die Schwere stärker wirkt, von gleicher Dauer sein, wie da, wo sie schwächer wirkt, so muß man am ersteren, nach dem dritten Gesetze, das Pendel verlängern, und umgekehrt.

Wir haben nunmehr den Gebrauch des Pendels zur Bestimmung der Erdgestalt näher kennen zu lernen, wobei es zweckmäßig sein wird, Einzelnes wiederholend zusammenzufassen, was über diese Verhältnisse früher schon mitgetheilt worden ist.

Weil die Erde rotirt und abgeplattet ist, so muß die anziehende Kraft der Schwere auf ihr veränderlich sein und von den Polen nach dem Aequator hin abnehmen. Denn da die Erdmasse in Folge der Rotation zu beiden Seiten des Aequators gürtelartig angehäuft ist, so befindet sich dort die Oberfläche weiter vom Mittelpunct der ziehenden Kräfte entfernt, als in der Nähe der Pole, die in Folge der Abplattung dem Erdmittelpuncte näher sind. Die Wirkung der Erdanziehung nimmt aber mit zunehmender

Entfernung ab. Die Schwere muß folglich am Aequator geringer sein, als an den Polen, und durch viele Beobachtungen zwischen Aequator und Pol muß sich das Verhältniß der Pendelschwingungen und daraus die Größe und Form der Abplattung berechnen lassen. Doch darf dabei nicht unberücksichtigt bleiben, daß außer der gürtelartigen Anschwellung am Aequator die daselbst größere Schwungkraft ebenfalls zur Verminderung der Schwere beiträgt. Die Schwere ist zwar beträchtlich stärker als die Schwungkraft und verhindert die Entfernung der Körper von der Erdoberfläche; nichtsdestoweniger kann der Theil der Erdanziehung, welcher zur Annullirung der Schwungkraft verwandt werden muß, sich nicht als Schwere wirksam erweisen. Es muß daher auch aus diesem Grunde die Schwere vom Aequator gegen die Pole hin, in welcher Richtung die Schwungbewegung immer mehr abnimmt, sich vermehren, wodurch ebenfalls eine stetige Vergrößerung der Pendelschnelligkeit nach den Polen zu nothwendig bedingt ist. Man vermag diesen Einfluß der Schwungkraft auf die Pendelgeschwindigkeit vollkommen zu berechnen und von der Einwirkung durch die Abplattung in Abzug zu bringen, wodurch man den oben angedeuteten Beweis für die Rotation erhält. Schwieriger ist es, die localen Störungen für die Berechnung unschädlich zu machen. Es hat sich nämlich aus vielen Beobachtungsreisen ergeben, daß die Schnelligkeit der Pendelschwingungen zuweilen auch an Orten, die gleich weit vom Aequator entfernt sind, etwas variirt, was, wie man vermuthet, von ungleicher Dichtigkeit und in Folge davon von ungleicher Anziehungskraft der festen Erdkruste in gewissen Erdtiefen herrührt. Diese Störungen können nur dadurch für die Berechnung unschädlich gemacht werden, daß man durch sehr viele Beobachtungen mittlere Resultate für gleiche Breiten erlangt.

Der französische Astronom Richer hat zuerst Beobachtungen über die Länge des Secundenpendels angestellt und sich zu diesem Zwecke 1672 von Paris nach Cayenne (5° vom Aequator) begeben. Er fand, daß seine Pendeluhr, welche in Paris genau mittlere Zeit (28) hielt und in 1 Stunde 3600 Schwingungen machte, in Cayenne sich täglich um 2 Minuten 28 Secunden verspätete, daher er das Pendel um 5 pariser Linien verkürzen mußte, daß sie aber später in Paris erst dann wieder richtig ging, als das Pendel auf die frühere Länge zurückgebracht war. Daraus ergab sich eine geringere Fallhöhe, folglich eine geringere Schwere unter dem Aequator, als in Paris. Diese Pendelmessungen wurden in der Folge mit großer Genauigkeit wiederholt; besonders haben in neuerer Zeit Oberst Sabine

und Capitän Foster auf einer ausschließlich in dieser Absicht veranstalteten Expedition die Pendellängen von 13° S. Br. bis 80° N. Br. an verschiedenen Stationen gemessen. Jeder dieser beiden Officiere beobachtete dieselben Pendel an verschiedenen Orten. Sabine ging nach Spitzbergen, in der Nähe des Pols, und beide nach vielen Orten nördlich und südlich vom Aequator. Die Art der Beobachtung war folgende. Ein freies Pendel wurde vor einer Uhr aufgestellt; beide wurden durch ein Fernrohr beobachtet und es wurde besonders darauf Acht gegeben, wenn die Pendel denselben Weg gingen und ob die Schwingungen des freien Pendels schneller oder langsamer, als die des Uhrpendels gingen. Dabei konnte man bemerken, daß sich die Schwingungen mehr und mehr trennten, bis sich die beiden Pendel zuletzt in entgegengesetzter Richtung bewegten, dann fingen sie an, sich einander zu nähern und dieselbe Richtung zu verfolgen, bis sie endlich genau denselben Weg machten. Die Zahl der Schwingungen zwischen den Zeitpuncten, wo die Bewegungen beider zusammenfielen, konnte etwa 500 betragen. Kann man die Zeit bestimmen, wenn die Pendel in demselben Wege schwingen, so findet man, wie lange es dauert, ehe das eine Pendel zwei Schwingungen vor dem anderen voraus hat. Gesetzt nämlich, das freie Pendel ginge langsamer als das Uhrpendel, und es vergingen $7^1/_2$ Minuten zwischen zwei Uebereinstimmungen in der Pendelbewegung, so beweist dies, daß, während die Uhr $7^1/_2$ Minuten gegangen ist, oder während ihr Pendel 450 Schwingungen gemacht hat, das freie Pendel nur 448 Schwingungen gemacht hat. Nun geht die Uhr Tag und Nacht, und mittelst Beobachtungen mit dem Mittagsrohr findet man, wie viele Stunden, Minuten und Secunden die Uhrzeiger an einem Tage anzeigen, d. h. wie viele Schwingungen das Uhrpendel macht. Da nun das freie Pendel 448 Schwingungen für jede 450 Schwingungen des Uhrpendels macht, so findet man daraus, wie viele Schwingungen das freie Pendel in 24 Stunden macht. Diese Beobachtungsmethode ist sehr fein, und überdies sind wegen einiger Umstände, besonders wegen des Einflusses der Temperatur, welche die Länge des Pendels verändert, Berichtigungen nothwendig. Allein es ist nicht schwer, die Zahl der von dem freien Pendel in einem Tage gemachten Schwingungen so genau zu bestimmen, daß der Irrthum $^1/_{10}$ einer Schwingung, oder $^1/_{800000}$ des Ganzen nicht übersteigt. — Aus allen Beobachtungen Sabine's und Foster's ging das allgemeine Resultat hervor, daß die Anzahl Schwingungen, welche ein Pendel täglich macht, in verschiedenen

Theilen der Erde nicht dieselbe ist. In der Nähe des Pols machte das Pendel in einem Tage ungefähr 240 Schwingungen mehr als in der Nähe des Aequators, offenbar darum, weil am Pol die Schwerkraft größer ist, und sie ist dort größer, weil die polare Erdoberfläche der Erdmitte näher ist, als die am Aequator; in der Erdmitte aber haben wir uns die ziehenden Kräfte der Erde vereinigt zu denken (2). Wäre irgendwo die Schwerkraft sehr gering, so würde auch die Bewegung des Pendels ungemein träge sein. Je größer die Schwerkraft ist, welche auf ein Pendel wirkt, das aus seiner Ruhelage gebracht ist, desto lebhafter zieht sie dasselbe in seine Ruhelage herab, um so weniger Zeit erfordert jede Schwingung, und um so größer ist die Zahl der an einem Tage gemachten Schwingungen. Man sieht also daraus, wie man im Pendel ein vortreffliches Mittel besitzt, an verschiedenen Theilen der Erdoberfläche die Schwere und damit zugleich die Gestalt der Erde zu messen. Die sehr reichhaltige Zusammenstellung der Beobachtungen durch Sabine ergibt am Aequator eine Fallhöhe von 15,05453 par. Fuß und eine Pendellänge von 3,050686, am Pol von 3,066551 par. Fuß. Daraus berechnet sich die Abplattung am Pol zu $^1/_{289,1}$ (Grenzen $^1/_{285}$ und $^1/_{291}$), d. i. wenn der Aequatorialdurchmesser in 289 gleiche Theile getheilt ist, so enthält der Polardurchmesser nur 288 solcher Theile, was etwa 3 Meilen Unterschied für den Halbmesser ausmacht — eine kleine Größe, im Vergleich mit dem Betrag eines der beiden Erdhalbmesser, aber doch mehr als das Doppelte größer als die Meereshöhe der höchsten Berggipfel.

Durch die nahe Uebereinstimmung der Resultate dieser subtilen Pendelmessungen mit den auf andere Weise gefundenen Abplattungswerthen der Erde ist die Nothwendigkeit der Wirkung festgestellt, und alles Andere, was von der Abplattung abhängt, läßt sich in seiner Gradation mit voller Sicherheit vorhersagen. So fein sind aber die Pendelbeobachtungen angestellt worden, daß aus ihnen nicht nur obiger Abplattungswerth im Allgemeinen hervorgeht, sondern auch die nähere Gestalt der Erde. Eine ausführliche und gründliche Untersuchung der Frage nämlich, welche Gestalt der Erde aus den genauesten bisher bekannten Pendelmessungen folge, hat Biot angestellt, und dabei nicht blos alle früheren, sondern auch seine eigenen in Italien und an der dalmatischen Küste gemachten Beobachtungen mit in Rechnung genommen. Hieraus zieht er die Folgerung, daß die Annahme einer regelmäßigen elliptischen Sphäricität der Erde unzulässig sei, also daß man weder die sämmtlichen Meridiane für Ellipsen, noch auch die Parallelen für Kreise

und mithin die ganze Erde nicht für ein regelmäßig gekrümmtes Ellipsoid halten könne, vielmehr verschiedene Unregelmäßigkeiten in der Gestalt unsers Planeten anzunehmen gezwungen sei.

So bewundernswürdig einfach die Methode ist, durch Pendelschwingungen die Krümmung der Erdoberfläche zu ergründen, so erschweren doch in einzelnen Localitäten die oben berührten geognostischen Beziehungen des Pendels die Erlangung völlig sicherer Resultate. Man hat daher zu demselben Zwecke eine andere Methode angewandt, nämlich die Gradmessungen, durch welche die Form der Erde zuerst direct ermittelt worden ist, und deren Resultate auf eine merkwürdige Weise mit den Folgerungen Biot's übereinstimmen. Wir haben zu unterscheiden zwischen Breiten- und Längengradmessungen.

Breitengradmessungen, mit denen wir zunächst beginnen wollen, bestehen aus astronomischen Bestimmungen, wobei das Mittagsrohr unentbehrliche Dienste leistet, und aus geodätischen Messungen. Legt man für die ersteren die einfache Thatsache, daß alle Gestirne innerhalb einer festen Periode Kreise um die Weltachse beschreiben, zu Grunde, so muß man einen beliebigen Fixstern, ausgewählt aus der Zahl derer, die nicht auf- und nicht untergehen, in seinem höchsten und tiefsten Stande beobachten. Beide finden, wie wir wissen, statt, wenn er durch den Meridian geht, das eine mal unter, das anderemal über dem Pol. Das Mittel aus beiden Sternhöhen ist folglich die Höhe des in der Mitte zwischen beiden liegenden Pols, und der halbe Unterschied beider Höhen zugleich der Abstand vom Pole, der, von 90° abgezogen, die Declination des Sterns angibt. Je kleiner dieser Unterschied, folglich je größer die Declination des Sterns ist, desto weniger hat man von den Fehlern der Beobachtung u. dergl. nachtheiligen Einfluß auf das Resultat zu fürchten. Stände ein Stern im Pol selbst, so genügte eine Beobachtung desselben. Daher ist der Polarstern der geeignetste und am häufigsten zum Zwecke der Breitegradmessungen beobachtete Stern, wenn er schon nicht der einzige ist. Es lehrt nun die Beobachtung, wie wir (31) gesehen haben, daß man, je weiter man auf der Erdoberfläche gegen Norden zu kommt, nach dieser Seite hin desto mehr von dem Himmelsgewölbe und damit den Polarstern desto höher am Himmel stehen sieht, und zwar dergestalt, daß seine horizontale Höhe dem zurückgelegten Wege immer proportional ist, woraus eine der bogenförmigen Krümmung des Himmelsgewölbes parallele Krümmung der Erdoberfläche in der Richtung Süd-Nord folgt. Ein metal-

lener Viertelskreis (Quadrant), der in 90 Grade, jeder Grad in 60 Minuten u. s. w. eingetheilt ist, und an dem ein um denselben bewegliches Fernrohr angebracht ist, gibt ein vorzügliches Hilfsmittel ab, um daran nach dem Visiren auf die Secunde abzulesen, wo man einen Stern gesehen hat. Geht daher ein Beobachter auf dem Meridian von A nach B, verändert er mithin seine geographische Breite, und findet er, daß, wenn er bei B angelangt ist, der Polarstern genau um 1° höher am Himmel steht, als bei A, so hat er auf dem mit dem Himmelsmeridian concentrischen Erdmeridian ebenfalls genau 1 Erdgrad zurückgelegt. Wüßte er nun zugleich, wie viel Fuß oder Toisen die Entfernung des Ortes B von A beträgt, so würde er daraus den Umfang eines als Kreis gedachten Meridians leicht berechnen können, da er nur die Zahl der Fuße oder Toisen eines Grades mit der Zahl von 360 Graden eines Meridians zu multipliciren brauchte.

Allein dies weiß man in den allerwenigsten Fällen und ist zudem selten im Stande, auf der Erde eine verhältnißmäßig auch nur mäßige Strecke in völlig gerader Richtung zu messen, da Berg und Thal mit einander wechseln, Wald, Gewässer u. s. w. das Fortschreiten in gerader Linie sehr häufig hindern. Gradmessungen können folglich nicht so einfach ausgeführt werden. Um daher die Länge der Breitegrade auf dem Meridian zu messen, bedient man sich der Methode der Triangulation. Soll z. B. die Größe von AB gemessen werden, Fig. 7, Taf. VII, so legt man in der Richtung dieser Linie etwa die Dreiecke ACD, CDE, CDF, ECF, DEF und BEF an, und zwar so, daß entweder in dem an A oder in dem an B liegenden Dreiecke eine Seite, welche die Basis der Triangulation ist, in Fußen oder Toisen unmittelbar sich messen läßt. Alsdann lehrt die Geometrie, nicht blos sämmtliche Dreiecksseiten, sondern auch aus diesen ihrer Größe und Lage nach berechneten Dreiecken die gesuchte Größe von AB selbst aufs Genaueste zu bestimmen, vorausgesetzt, daß alle Winkel in den angelegten Dreiecken möglichst scharf mit einem Winkelmesser (dem Theodolit) gemessen worden sind. Wir sehen also, wie durch directe Messung einer Basis mittelst eines bestimmten Maaßes die Entfernung von A und B bestimmt werden kann. Hätte die Berechnung für die Linie AB 171039 Toisen ergeben, und würde der Polarstern, falls man ihn zu diesem Zwecke beobachtet hätte, bei A 46°, bei B 49° Höhe haben, so wären von A nach B 3 Breitengrade, und durch Division mit 3 in 171039 erhielte man für einen Grad 57013 Toisen. Dieses Resultat würde richtig sein, sofern die Krümmung der Linie AB, als eines Theiles eines Erdmeri-

dians, eine durchaus gleichförmige wäre. Eine gleichförmige Krümmung der Linie oder des Bogens AB würde aber voraussetzen, daß der Meridian, zu dem der Bogen gehört, ein Kreis sei. Dies zu ermitteln ist eben die Aufgabe der Breitegradmessung. Es muß jetzt also die Krümmung des Bogens AB gemessen werden.

Zu diesem Zwecke bedient man sich des Zenith-Sectors, Fig. 8. Er besteht aus einem Fernrohr, das auf Zapfen AB schwingt und an welchem ein in Grade und Minuten eingetheilter Bogen cde befestigt ist. Mit einem von den Zapfen ist ein Hängloth BF verbunden, ein feiner Drath, der ein Gewicht F trägt, welches in Wasser eintaucht, um es in unverrückter Stellung zu erhalten. Es gibt die Richtung zur Schwere daselbst, oder die Richtung der zum Horizont senkrechten Linie an. Wenn nun der Beobachter einen Stern sehr nahe in seinem Zenith steht, so ist es klar, daß er, wenn er das Fernrohr nach dem Sterne richtet, dadurch, daß der von dem Hängloth gekreuzte Punct des getheilten Bogens cde von ihm beobachtet wird, ein bis auf Secunden genaues Maß davon erhalten hat, wie weit der Stern von der senkrechten Linie entfernt ist. Der Zenith-Sector ist leicht von einer Stelle zur anderen zu schaffen, und dann sind die mit demselben gemachten Beobachtungen auf denjenigen Theil des Himmels beschränkt, wo die Lichtbrechung kaum merklich ist. Denn die Strahlenbrechung erhöht den Stern, sowohl wenn er über, als wenn er unter dem Pole steht, nur im ersteren Fall etwas weniger als im letzteren, und man muß also die Größe der Lichtbrechung kennen und in Rechnung bringen. Indeß kennt man jetzt die Lichtbrechung, wenn man die für geringe Höhen ausnimmt, genau genug, um sicher zu sein, daß aus dieser Quelle kein irgend merklicher Fehler in den Breitenbestimmungen entspringe. Aus diesem Grunde bietet daher der Gebrauch des Zenith-Sectors besondere Vortheile.

Man macht von diesem Instrument zur Bestimmung der Erdgestalt folgenden Gebrauch. Der Zenith-Sector wird, Fig. 7, nach A und B gebracht. Die Richtung der Schwere ist senkrecht zur Erdoberfläche, und wenn diese gekrümmt ist, so kann die Richtung, in welcher das Loth hängt, an verschiedenen Orten nicht dieselbe sein, oder mit anderen Worten, die Richtung der Schwere muß wechseln.*) Wenn daher die Erde gekrümmt ist,

*) Zu bemerken ist, daß wir eigentlich nur die vereinte Wirkung von der Schwer- und Schwungkraft beobachten, daß somit die irdische Schwere die Mittelkraft aus bei-

wie frühere Betrachtungen uns ein Recht geben anzunehmen, so würde das Loth bei A, Fig. 9, in der Richtung CGF, und das bei B in der Richtung cgf hängen. Der Ort des Sterns, welchen man beobachtet, bleibt indessen wegen seiner ungeheuren Entfernung unverändert. Das Fernrohr muß in dieselbe Richtung gebracht werden, man mag es bei A oder bei B gebrauchen, d. h. die Linie CD ist parallel cd. Macht man nun die Beobachtungen durch und untersucht man, welcher Theil des Bogens am Zenith-Sector von dem Lothe gekreuzt wird, so erhält man bei den Beobachtungen an diesen zwei Orten verschiedene Theile des Bogens. Beobachtet man den Stern bei B, so kreuzt das Loth bei g; bei A dagegen in G. So erhält man den Unterschied in der Richtung der Schwere an diesen beiden Orten.

Auf die beschriebene Weise erhält man die Neigung zwischen der Linie, welche senkrecht zur Oberfläche bei A, Fig. 10, und der Linie, welche senkrecht zur Oberfläche bei B ist. Setzt man diese Linien nach unten fort, bis sie in einer großen Entfernung zusammentreffen, wie bei H, so bekommt man einen Mittelpunct, von welchem aus man eine Schwingung machen kann, um die Krümmung dieses Theils zu beschreiben. Wenn die Erde sphärisch ist, so ist es klar, daß diese Linien bis zum Mittelpunct der Erde gehen, und der gefundene Abstand AH ist der Halbmesser der Erde. Nehmen wir an, das Maß von AB betrage 180 Meilen, und die Richtungen der beiden scheitelrechten Linien AH und BH an den beiden Orten A und B bilden einen Winkel von 12 Grad, so ist zu bemerken, daß eine Entfernung von 180 Meilen nöthig ist, um von einem Orte zu einem anderen zu gelangen, wo die Richtung der scheitelrechten Linien sich um 12 Grade ändert. Hieraus folgt eine Krümmung der Erde in der Art, daß man 15 Meilen zurücklegen muß, um den Abstand zweier Orte zu finden, deren scheitelrechte Linien um 1 Grad gegen einander geneigt sind. Nun findet man leicht, wie viel der Halbmesser des Kreises beträgt, den man beschreiben muß, damit durch jenen Abstand von 15 Meilen die beiden Linien, welche vom Mittelpuncte nach dem Ende des 15 Meilen langen Bogens gezogen worden sind, eine Neigung von

---

den ist; daher geht auch deren Richtung, also die Richtung eines Hängloths (oder die des freien Falls) nicht genau nach der Erdmitte. Da nun der Scheitelpunct eines Orts in der Verlängerung des Erdhalbmessers liegt, so gibt ein Hängloth nicht das wahre Zenith und bedarf einer kleinen Verbesserung durch Rechnung. Im Obigen wird übrigens noch die Kugelgestalt der Erde vorausgesetzt.

1 Grad erhalten. Wir erhalten nämlich für den Umfang der Erde 5400 Meilen, diese Zahl dividirt durch 3,141.., gibt den doppelten Halbmesser, oder in runder Zahl 860 Meilen für den Halbmesser.

Auf diese Art wurde die erste genaue Messung von Snell in Holland, die zweite von Picard zwischen Malvoisin und Amiens bestimmt. Bald darauf erschien Newton's Theorie der Schwere, welcher aus derselben die abgeplattete Gestalt der Erde ableitete. Es war von Wichtigkeit, die Berechnung Newton's zu bestätigen. Lahire, welcher die Messung Picard's nördlich bis Dünkirchen, südlich bis Perpignan fortsetzte, fand zwischen Paris und Bourges 57098 Toisen, zwischen Paris und Amiens 57060 Toisen (wie Picard) und zwischen Paris und Dünkirchen 56970 Toisen für einen Meridiangrad. Aus diesen Werthen schien sich eine Abnahme eines Grades nach den Polen zu ergeben, folglich eine stärkere Krümmung der Erde gegen die Pole, als gegen den Aequator hin. Dieses Resultat widersprach geradezu der Attractionstheorie Newton's. Es entspann sich ein langer Streit der Theorie und Praxis, der endlich durch eine Wiederholung von Breitegradmessungen mit besseren Hilfsmitteln und an von einander weiter entlegenen Puncten der Erdoberfläche zu Gunsten der Theorie geschlichtet wurde. Die zwei berühmten Expeditionen, welche auf Veranlassung der französischen Regierung zu diesem Zwecke unternommen wurden, gingen 1735 die eine nach Peru, die andere nach Lapland; bei der ersteren befanden sich Bouguer und Condamine, bei der letzteren Maupertuis, Claïrault und Lenconnier. Beide nahmen in der beschriebenen Weise Triangulationen und Beobachtungen mit dem Zenith-Sector vor. In Lapland fing man bei Tornea, am Nordende des bothnischen Meerbusens, an und setzte die Messungen etwa 11 Meilen in nördlicher Richtung fort, die peruanische Messung dagegen hatte eine Ausdehnung von 44 Meilen. Die Ergebnisse waren folgende. In Fig. 11 stellt AB die Messung in Lapland vor, ab die in Peru. Es fand sich, daß man in Lapland etwa $15^1/_6$ Meilen gehen mußte, damit sich die Richtungen der scheitelrechten Linien um 1 Grad änderten; dagegen brauchte man in Peru nur 15 Meilen zu gehen, damit sich die Richtungen in derselben Weise änderten. Hieraus folgt, daß die Scheitelrechten AH und BH in Lapland an einem Puncte zusammentreffen, dessen Abstand von A oder B gegen 870 Meilen beträgt, und daß die Scheitelrechten ah und bh in Peru an einem Puncte sich begegnen, dessen Entfernung von a oder b etwa 860 Meilen ausmacht. In Lapland wurde der Meridian-

grad zu 57437 Toisen, in Peru zu 56723 Toisen gefunden. — Es wurde oben bemerkt, daß die Schätzung des Halbmessers der Erde (vorausgesetzt, sie sei eine Kugel) von der Entfernung abhänge, die man zurückzulegen hätte, damit die Richtung der Scheitelrechten sich um einen Grad ändere. Wir müssen bei der nördlichen Messung weiter gehen, als bei der am Aequator. Daraus könnte eine eiförmige Gestalt der Erde gefolgert werden, was jedoch unrichtig wäre. Denn nehmen wir an, die Erde sei elliptisch gekrümmt, so wird die Richtung der Schwere, sofern wir darunter die Richtung einer zur Oberfläche des Wassers senkrechten Linie verstehen, nicht zum Mittelpunct der Erde gehen. Zwar belehren uns die Messungen, welche wir über die Krümmung verschiedener Puncte der Erde besitzen, daß bei AB die Krümmung unbedeutend, bei ab hingegen sehr merklich ist. Gleichwohl führen sie uns bei gehöriger Ueberlegung zu dem Schlusse, daß die Gestalt der Erde zwar an den Polen flacher, am Aequator stärker gekrümmt sei, daß sie aber kein Oval bilde, wie Fig. 11. Das Gesetz, welches die Theorie gab, war, daß die Gestalt der Erde eine solche sei, die durch eine Ellipse, welche sich um ihre kurze Achse dreht, hervorgebracht wird. Nahm man nun an, daß die Erde ein elliptisches Sphäroid (Rundellipsoid) sei, so war es eine Sache der Berechnung, aus den geometrischen Eigenschaften der Ellipse zu bestimmen, welches das Verhältniß der beiden Erdachsen sein würde, durch welche die Verhältnisse der Krümmungen bei AB und ab den zufolge der Beobachtungen bestimmten ähnlich gemacht würden. Aus den beiden Messungen ergab sich eine Abplattung von $^1/_{178}$, und obgleich sich aus späteren Untersuchungen ergab, daß die Messung in Lapland beträchtlich fehlerhaft war, so stellte sich daraus doch die Richtigkeit von Newton's Theorie im Allgemeinen heraus, da die Grade nach dem Pole zu größer, d. i. die Meridiankrümmung geringer wurde und die Erde um die Pole eine abgeplattete Gestalt zeigte.

Die beschriebene Unternehmung hat ein so großes Aufsehen erregt, daß sich immer mehr Nachahmer derselben fanden und seit jener Zeit ausgedehnte Messungen an anderen Theilen der Erde stattgefunden haben, wobei es sich auch zeigte, daß die Messung in Peru für alle Zeiten von bleibendem Werthe ist. Bei jeder neuen Messung waren der Abplattungscoefficient und die Größe der Erde fortan die Hauptaufgaben. Die wichtigsten derselben sind folgende. Am Cap der guten Hoffnung von Lacaille (1750), welche in neuester Zeit von Maclear wiederholt und weiter ausgedehnt worden ist; in England ist der Bogen von der Insel Wight bis zu den Shetlandsinseln

gemessen worden; in Indien ein Bogen vom Cap Comorin bis in die Nachbarschaft des Himalaja; in Rußland findet gegenwärtig die Messung eines Bogens statt, der an der Mündung der Donau seinen Anfang nimmt und sich am Nordcap endigt, ein Unternehmen, das eines der besten Mittel bilden wird, die Dimensionen der Erde genau zu messen; in Frankreich wurde während der ersten Revolution eine Messung von Dünkirchen bis Barcelona ausgeführt und später bis Formentera fortgesetzt; in Preußen maß Bessel einen Meridianbogen, und richtete die höchste Aufmerksamkeit auf alle noch so gering scheinenden Nebenumstände, so daß seine Messung für das 19. Jahrhundert das ist, was die peruanische für das 18., und daß er, trotz der Kürze seines Bogens, es wagen konnte, zu untersuchen, ob die einzelnen Theile desselben der gleichen Ellipse entsprechen.

Der genannte große Astronom nahm 10 genauere Messungen in Berechnung und fand als mittleren Grad des Meridians 57013,104 Toisen, mit einem möglichen Fehler von $\pm$ 2,8403 Toisen, und einer Erdabplattung von $^1/_{299,153}$. Die Anschwellung unter dem Aequator beträgt dem zufolge etwas mehr als $4^3/_7$ mal die Höhe des Montblanc. Diesem Resultate ist wegen der großen Anzahl von Data, noch mehr aber wegen der hohen Vollendung, welche alle Arbeiten Bessel's auszeichnet, unstreitig ein großes Gewicht zuzuschreiben. Vergleichen wir das Resultat für die Abplattung aus den Pendelbeobachtungen ($^1/_{289}$) mit dem aus directen Gradmessungen, so finden wir eine Abweichung, welche etwa 2600 par. Fuß beträgt. Diese hat ihren Grund in einem Mangel der sowohl bei Grad-, wie bei Pendelmessungen gemachten Annahmen. Die erstern setzen nämlich überall auf der Erde eine zur Ebene des Horizonts senkrechte Fallrichtung voraus, die letzteren eine überall gleiche specifische Schwere der Massen an der Erdoberfläche. Keine dieser beiden Annahmen ist aber, wie wir wissen, nach aller Strenge gültig.

Zur Bestimmung der Dimensionen des Erdkörpers sind nicht nur Breitengrade, sondern auch Längengrade gemessen worden; denn ist die Erde ein elliptisches Sphäroid, so sind ihre Parallelen kleiner, als wenn sie eine Kugel wäre. Die Längenaufgabe ist aber von ganz verschiedener Natur, und der Methoden, welche man angewandt hat, gibt es manche, von denen wir die gebräuchlichsten hier anführen wollen. Es ist früher (29) bemerkt worden, daß sich die einzelnen Meridiane der Erde, was ihr Verhält-

niß zum Himmel betrifft, nur allein durch die Zeit unterscheiden, und zwar jeder Grad nur durch 4 Minuten Zeit. Es stelle Fig. 12 die Erde vor, mit ihrem Pole P dem Auge zugekehrt, K und L seien zwei Stationen und S ein Stern, welcher gesehen wird. Wird ein Mittagsrohr bei K aufgestellt, so ist die Ebene, in welcher sich das Instrument bewegt, die des Meridians PK, und das Instrument wird den Stern da auffangen, wo er durch diesen Meridian geht. Errichtet man ein Mittagsrohr in dem westlicher gelegenen L, so ist seine Bewegungsebene die des Meridians PL, welche gegen die von PK geneigt ist. Deshalb wird der Stern nicht zu gleicher Zeit durch die beiden Mittagsröhre gehen. Der Zeitunterschied wird einzig von der Neigung der Meridiane, d. i. von der Entfernung derselben in Länge abhängen. Vergleicht man nun die Zeiten, in welchen derselbe Stern durch die beiden Mittagsröhre geht, so haben wir darin die Mittel zu sehen, wie viel die Meridianebenen geneigt sind, d. i. wie viele Längengrade u. s. w. zwischen beiden Meridianen liegen. Es gibt nun verschiedene Methoden, nach welchen die Zeiten verglichen werden können. Eine derselben besteht darin, daß man Längenuhren von einem Orte zum andern bringt. Diese Methode der Berechnung ist die beste, da man bei ihr die Versuche beliebig wiederholen kann. Das Princip ist äußerst einfach: die Zeit des Ortes K wird durch einen oder mehrere Chronometer möglichst rasch nach einem anderen L, der seine Zeit gleichfalls bestimmt, übertragen. So haben 20 chronometrische Reisen, welche die Gebrüder Petersen im Jahre 1835 zwischen Altona und Berlin mit mehreren Chronometern unternahmen, den Längenunterschied dieser Orte bis auf $^1/_4$ Secunde etwa festgestellt. Hätte zwischen beiden Orten eine Eisenbahn bestanden, so hätte eine noch 3 — 4 mal größere Genauigkeit erhalten werden können. In neuester Zeit hat man deshalb angefangen, zur Bestimmung der Längenunterschiede die Uhrzeiten mittelst der electrischen Telegraphen zu vergleichen. Ist man also in den Stand gesetzt, die Uhren an den beiden Orten K und L zu vergleichen; so kann man vermöge der Durchgangsbeobachtungen, die mit Hilfe der Uhren angestellt werden, verbunden mit den gehörigen Berechnungen, die Durchgangszeiten der Sterne vergleichen, und erhält so die Längenunterschiede von K und L. Ist die Durchgangszeit des Sternes in K 25 Minuten früher als in L, so ist, da auf einen Grad 4 Minuten in Zeit kommen, der Längenunterschied beider Orte 6° 15′. Durch eine Vermessungs-Triangulation in ost-westlicher Richtung wird sodann die Entfernung von K und L in Toisen ermittelt,

woraus sich dann der ganze Umfang des Parallelkreises berechnen läßt. Dabei wird es sich zeigen, ob derselbe einer Kugel oder einem Ellipsoid entspricht. — Eine andere Methode besteht in der Anwendung von **Blickfeuern** (Pulverblitzen). Wenn zwei Orte A und B zwar nicht von einander, doch aber von einem dritten C aus gesehen werden können, so kann man in C ein künstliches Lichtsignal veranstalten. Der Punct, wo es gegeben wird, muß aber unveränderlich sein, um ein Fernrohr auch in der Nacht mit Sicherheit darauf richten zu können. Von den beiden Orten A und B aus, wo die Instrumente aufgestellt sind, wird die Zeit beobachtet, in welcher das Aufblitzen des Pulvers in C wahrgenommen wird. Weiß man nun, wie viel die eine von beiden Uhren vor- oder nachgeht, so kann man daraus den Längenunterschied beider Orte berechnen. — Ein anderes Mittel, das sehr häufig angewandt wird, geben die **Sternbedeckungen durch den Mond**. Bedient man sich dabei eines guten und besonders scharfe Begrenzungen gewährenden Fernrohrs, so ist das Verschwinden eines Fixsterns hinter dem Mondrande, namentlich dem dunkeln, ein so plötzliches Ereigniß, daß man bei strenger Aufmerksamkeit, und wenn nicht nachtheilige Nebenumstände eintreten, seiner wohl auf eine Viertelsecunde gewiß sein kann. — Auch die Verfinsterungen der **Trabanten Jupiters**, welche sich häufig ereignen (18) und in einem guten Fernrohr leicht zu beobachten sind, geben den Längenunterschied. — **Gauß** hat vorgeschlagen, die **Schwingungen der Magnetnadel** zu Längenbestimmungen anzuwenden. Diese kleinen, oft plötzlich und in kleinen Intervallen sich zeigenden Veränderungen ereignen sich gleichzeitig an sehr entlegenen Puncten. Man würde also, stets eine sichere Zeitbestimmung vorausgesetzt, in diesen Bebungen terrestrische Signale haben, die nicht an die Bedingung des gleichzeitigen Sichtbarseins geknüpft wären, was den Gebrauch anderer Signale so sehr einschränkt. Es scheint aber nicht, daß diese Methode eine der früher bekannten verdrängen werde. — Die Längengradmessungen ergaben ebenfalls eine ellipsoidische Gestalt der Erde, und zwar im Verhältniß von ungefähr 1717 und 1723 Meilen für die Erdhalbmesser, was eine stärkere Abplattung voraussetzen würde, als die aus den Breitengradmessungen gefundene.

Wenn der durch Pendelbeobachtungen ermittelte Abplattungswerth sehr nahe dasselbe Verhältniß für die beiden Durchmesser der Erde gibt, wie der durch Triangulationen und die Anwendung des Zenith-Sectors gefundene;

so ist dies unstreitig ein sehr merkwürdiger Beweis von der Richtigkeit der Theorie der Schwere. Es gibt nun noch eine andere Methode, die elliptische Gestalt der Erde zu bestimmen, welche ebenfalls auf der Theorie der Schwere beruht, und einen von dem bisher eingeschlagenen ganz unabhängigen Weg abgibt. Ist nämlich die Anziehung einer homogenen Kugel auf einen äußeren Körper nach allen Richtungen hin gleich, so ist dies nicht der Fall mit der eines elliptischen Sphäroides. Denn da sich bei einem solchen unter dem Aequator (bis zum Mittelpunct hin) mehr Masse als unter den Polen befindet, so wird es auf gleiche Distanz nach der Ebene des Aequators hin mehr als in der Richtung der Pole wirken. Ein Mond also, der in ersterer Ebene liefe, würde stärker angezogen, als ein anderer, in gleicher Entfernung, aber in der Richtung des Meridians umlaufender. Folglich wird auch unser Mond, wenn seine Bahn der Ebene des Aequators näher liegt, stärker angezogen, als wenn er sich weiter von dieser Ebene entfernt. Der Unterschied beider Anziehungen hängt, wie man sieht, von der Größe des Neigungsunterschiedes (die genau bekannt ist) und von der Abplattung ab, und es ist sehr merkwürdig, daß man in Betreff dieser Unregelmäßigkeit des Mondlaufs gefunden hat, daß dieselbe nur von der elliptischen Gestalt der Erdoberfläche abhänge, und nicht von den verschiedenen Dichtigkeiten der auf einander folgenden Erdschichten. Gerade wie die Bewegung unsers Mondes, so werden auch die der Jupitertrabanten durch die elliptische Form des Jupiter gestört. Beobachtungen über den Lauf unsers Mondes werden also ein Mittel sein, die Abplattung zu berechnen, und man erhält auch auf diesem Wege ein Resultat, welches mit den aus den Pendelbeobachtungen und Gradmessungen genügend übereinstimmt.

Nach allem Obigen kann nun an der abgeplatteten Gestalt der Erde nicht gezweifelt werden. Die Abplattung sowohl, wie die Größe der Erde sind durch die Theorie des Mondlaufs (von der später die Rede sein wird), durch die Beobachtungen der Pendelschwingungen und die directen Gradmessungen nach Länge und Breite aufs Evidenteste erwiesen. Aus den gefundenen Abplattungswerthen geht aber zugleich hervor, daß die Dichte der Erde nach der Mitte zunehmen muß, und das Verhältniß der Kerndichte zur oberflächlichen Dichte gewisse Grenzen nicht übersteigen kann. Wäre nämlich die Erdmasse nach der Oberfläche zu angehäuft, so müßte unter übrigens gleichen Umständen die Abplattung größer sein, und kleiner, wenn die Erdmasse nach der Mitte zu gesammelt wäre; denn im ersteren Fall müßte sich

ein um so mächtigerer, im zweiten ein um so schwächerer Schwung ergeben. Die Mechanik weist nun genau nach, daß bei gleichmäßiger Dichte des ganzen Erdkörpers die Abplattung $^1/_{230}$, statt nur $^1/_{289}$ oder $^1/_{299}$, betragen müßte; und sie würde noch bedeutender, wenn die Dichte nach Innen abnähme, oder wenn das ganze Innere hohl wäre. Ferner lehrt die Mechanik, daß die Abplattung bei sehr überwiegender Kerndichte ungleich kleiner sein müßte, namentlich nur $^1/_{576}$ betragen könnte, wenn die Verdichtung nach der Mitte zu so groß wäre, daß die Richtung der Schwere trotz der Schwungkraft keine merkliche Abweichung von dem Halbmesser zeigen könnte (eine Massenvertheilung, wie sie bei der Sonne stattzufinden scheint). Dürfte man eine vollkommen regelmäßige Schichtenlagerung voraussetzen, so könnte man sogar aus dem Betrag der Abplattung genau ermitteln, wie vielmal die Kerndichte, folglich auch die mittlere Dichte, die an der Oberfläche übertreffen müßte, und da die in jener Voraussetzung ermittelte mittlere Erddichte in der That von der anderweitigen Bestimmung derselben (35) nicht sehr abweicht, so können sehr beträchtliche Unregelmäßigkeiten in der Massenvertheilung nicht stattfinden, und es kann weder Höhlungen, noch örtliche Verdichtungen im Erdinneren geben, welche mit dem ganzen Erdkörper in einige Vergleichung kämen.

Wie bereits erwähnt worden ist, ist aus den im Obigen beschriebenen Messungen und Berechnungen nicht nur die Größe und der Abplattungscoefficient der Erde hervorgegangen, sondern auch die Unregelmäßigkeiten der abgeplatteten Erdgestalt. Eine Ursache dieser letzteren liegt unstreitig in den schon früher namhaft gemachten geologischen Kräften unsers Planeten, welche von den ältesten Zeiten her wirksam waren. Unter diesen Unregelmäßigkeiten sind aber nicht allein die gebirgigen Unebenheiten der Erdoberfläche verstanden, welche in Beziehung auf die Gestalt im Ganzen fast verschwindend klein sind, und, da sie die Richtung der Schwere fast unmerklich ändern, auf die Resultate der Messungen nicht merkbar einwirken können; sondern Anschwellungen, welche, wie vermuthet wird, außer durch die geologischen Kräfte durch Unregelmäßigkeiten in der Massenvertheilung, durch Anziehung des Mondes und der Sonne während des Erstarrens des ursprünglich flüssigen Erdkörpers bedingt sind, und durch welche zum Theil vielleicht die wechselnden Kraftwirkungen einer längst vergangenen Zeit gewissermaßen fixirt worden sind. Daraus würde folgen, daß die Form der Erde als ein Resultat unendlich mannigfaltiger äußerer und innerer Ein-

wirkungen auf das ursprünglich Gegebene, das indessen stets als wesentlich *vorherrscht*, betrachtet werden muß.

Größe der Erde.

34. Mit Hülfe der Größe *eines* Grades berechnen wir die Peripherie eines größten Kreises der Erde, des Aequators oder eines Meridians, und damit ist uns der Schlüssel gegeben zur Berechnung aller übrigen Größenverhältnisse des Erdballs.*) Nehmen wir zuerst an, die Erde sei eine Kugel, so würde deren Umfang, da ein Aequatorgrad einer Länge von 15 geogr. Meilen entspricht, nach allen Richtungen gemessen $316 \times 15 = 5400$ geogr. Meilen betragen. Da der Kreisumfang zu seinem Durchmesser sich ungefähr verhält wie 355 : 113, so würde der Durchmesser der Erde etwa 1719, der Halbmesser 860 geogr. Meilen sein. Der Flächeninhalt einer Kugel ist das Product aus der Multiplication des Durchmessers mit der Peripherie, und man erhielte also für die Erde $1719 \times 5400 = 9{,}282600$ Geviertmeilen, und wird diese Zahl wieder multiplicirt mit dem sechsten Theil der Durchmesserzahl, $\frac{1719}{6} = 286{,}5$, so erhält man den körperlichen Inhalt der Erdkugel, oder $286{,}5 \times 9{,}282600 = 2657287730$ Kubikmeilen (da der Durchmesser etwas größer ist, als 1719, so wird der kubische Inhalt 2659311575 K.-M.). Weil nun aber die Erde keine Kugel, sondern ein Rundellipsoid ist, so ergeben sich etwas andere Dimensionen, bei deren Bestimmung es zuvörderst auf den Abplattungswerth und die Länge eines Grades ankommt. Nimmt man für einen Meridiangrad unter dem 45. Parallel in runder Zahl 57007 Toisen und als *mittleren* Werth der Abplattung $^1/_{289}$ an, indem diese Bruchgröße zwischen den aus Messungen und Beobachtungen abgeleiteten Werthen so ziemlich die Mitte hält, so ergeben sich, nach *Muncke's* Berechnung,**) für die Dimensionen der Erde folgende Größen:

---

*) Ich folge hier „Bromme's Atlas zu Humboldt's Kosmos" Lief. III. A. v. Humboldt selbst gibt die Länge einer geogr. Meile zu 3807,23 Toisen an (22843,38 paris. Fuß), den Aequatorial- und Polardurchmesser zu 1718,9 und 1713,1 Meilen, den Flächeninhalt zu 9282060 Geviertmeilen und den körperlichen Inhalt zu 2659 Millionen 310190 Kubikmeilen.

**) Muncke's Handbuch der Naturlehre, II. pag. 83—85.

Aequatorialdurchmesser . .	6,543904	Toisen	= 1718,834	geogr. M.
Polardurchmesser oder Achse	6,521268	"	= 1712,927	" "
Mittlerer Erddurchmesser .	—		1715,880	" "
Halbmesser des Aequators	3,271952	"		
Krümmungshalbmesser für 45⁰ Breite	3,266260	"		
Halbmesser eines Kreises, dess. Umfang dem elliptischen Meridian gleich ist . .	3,266295	"		
Umfang des Aequators . .	—		5400	" "
Länge eines Meridians . .	—		5390,67	" "
Länge e. Aequatorgrades	57106,33	"		
Größe der geogr. Meile	3807,09	"		

Nach diesen Elementen beträgt die Oberfläche des Erdellipsoides 9,260500 Geviertmeilen und der körperliche Inhalt nahe genau 2650 Mill. 686000 Kubikmeilen, also $8^1/_2$ Mill. Kubikmeilen weniger, als sich oben bei der vollkommenen Kugel zeigten.

Aus diesen Zahlen folgt von selbst, daß in Beziehung auf die Gestalt der Erde die Gebirge von keinem Einfluß sein können. Denn denken wir uns die Erdkugel verkleinert, als einen Ball von etwa 17 Zoll Durchmesser, so gleichen unsere höchsten Gebirge etwa Sandkörnchen von $^1/_{100}$ Zoll Höhe, die an der Oberfläche dieses Balles hängen. Die höchsten bekannten Berge der Erde sind nur etwa $^1/_{1717,8}$ ihres Durchmessers, so riesenhaft sie uns sonst erscheinen mögen. Und doch ist unsere Erde nur ein Pünctchen im Weltraume, wenn wir uns an das erinnern, was früher bei Betrachtung des Fixsternhimmels über die Unermeßlichkeit des Universums bemerkt worden ist. Die mikroskopischen Untersuchungen haben uns mit der kleinsten sichtbaren Größe bekannt gemacht. Ein Körper von $^1/_{3000}$ Linie ist noch als ein bestimmter Punct wahrnehmbar. Dieser kleinste der mikroskopischen Puncte, mit der Erdkugel verglichen, ist noch beträchtlich größer, als die Erdkugel, mit den Räumen verglichen, die uns von den entferntesten Nebelmassen trennen. Mädler berechnet die Anzahl von Erdkugeln, welche den uns bekannten Weltenraum anfüllen könnte und erhält eine Zahl von 47 Ziffern, wogegen die Summe jener mikroskopischen Pünctchen, welche den Raum der Erdkugel füllen würde, durch eine Zahl von 41 Ziffern darzustellen ist. Daraus mag man sich eine ungefähre Vorstellung von den

Dimensionen des Erdkörpers, verglichen mit dem uns bekannten Weltraum, machen. Dennoch ist im Grunde mit allem dem nur wenig gesagt, weil es unstatthaft ist, in der Natur ein bestimmtes Maß von groß und klein sich zu machen, da Alles, was wir groß nennen, gegen andere Naturgrößen gehalten, wieder mikroskopisch klein und das sogenannte Kleine im Verhältniß zu Anderem ungeheuer groß erscheint. So ist die Sonnenweite gegen die Entfernung des nächsten Fixsterns kaum ein Zoll gegen eine Meile und eine Käsemilbe gegen viele Infusorien ein wahrhaft gigantisches Ungethüm. Ebenso verhält es sich auch mit der Vergleichung der Erde mit dem uns bekannten Weltraum. Denn wenn auch die Astronomen, indem sie in die unermeßlichen Tiefen desselben eingedrungen sind, uns die ältesten Zeugnisse vom Dasein der Materie (wie Humboldt sich ausdrückt) vor Augen geführt haben; so ist es doch gewiß, daß sie damit nur die Grenzen unseres Erkennens, aber nicht die Grenzen der Schöpfung erreicht, nicht das Universum umfaßt haben, gegen welches der uns bekannte Weltraum wieder klein sein mag.

Ist die Länge eines Meridiangrades unter 45° der Breite = 57007 Toisen, so beträgt auf dem Ellipsoid die Länge eines Grades im Meridian unter dem Aequator 56711,96 Toisen, und nach diesem Werthe sind in nachstehender Tafel die Längen der Meridiangrade von Muncke berechnet. Da mit der Entfernung vom Aequator die Parallelkreise und die Grade auf denselben immer kleiner werden, so sind die Werthe dieser Abnahme, der Umfang der Parallelkreise und der Unterschied, der in der Größe der Grade zwischen der Kugel und dem Ellipsoid besteht, ebenfalls in der Tafel aufgenommen. Aus derselben geht deutlich hervor, daß der Unterschied zwischen der vollkommenen Kugel und dem Rundellipsoid in den einzelnen Graden verhältnißmäßig so gering ist, daß wir bei unseren künstlichen Globen die Erde ohne Weiteres als Kugel annehmen können.

Länge der Grade im Parallel und Meridian. — Abplattung = $^{1}/_{289}$.

Breite	Länge der Meridiangr. Toisen	Geogr. Meilen	Differenz gegen die Kugel in geogr. M.	Länge der Parallelgr. Toisen	Geogr. Meilen	Differ. geg. die Kug. in g. M.	Umfang d. Parallelkreise in geogr. M.
0°	56711,96	14,896	—0,104	57106,33	15,000	0,000	5400,00
5°	56716,44	14,897	0,103	56890,51	14,943	0,001	5379,84
10°	56729,70	14,901	0,099	56244,63	14,773	0,002	5318,28
15°	56751,34	14,907	0,093	55173,25	14,492	0,004	5217,12
20°	56780,75	14,914	0,086	53864,47	14,101	0,006	5076,36
25°	56817,07	14,924	0,076	51787,86	13,603	0,009	4897,08
30°	56859,15	14,935	0,065	49498,27	13,002	0,012	4680,72
35°	56905,80	14,947	0,053	46832,00	12,301	0,014	4428,36
40°	56955,57	14,940	0,040	43808,53	11,507	0,016	4142,52
45°	57007,00	14,974	0,026	40450,17	10,625	0,018	3825,00
50°	57058,46	14,987	0,013	36781,85	9,661	0,019	3477,96
55°	57108,46	15,000	0,	32831,00	8,623	0,019	3104,28
60°	57155,41	15,013	+0,013	28627,40	7,519	0,019	2706,84
65°	57197,94	15,024	0,024	24202,92	6,357	0,018	2288,52
70°	57234,70	15,034	0,034	19591,34	5,146	0,016	1852,56
75°	57264,54	15,041	0,041	14828,05	3,895	0,013	1402,20
80°	57286,54	15,047	0,047	9949,79	2,613	0,008	940,68
85°	57300,04	15,051	0,051	4994,29	1,312	0,005	472,32
90°	57304,51	15,052	0,052	0,00	0,000	0,	0,

Dichtigkeit und Gewicht der Erde.

35. Bei der großen Genauigkeit, deren die Pendelversuche fähig sind, kann man durch sie außer der Gestalt auch die mittlere Dichtigkeit und folglich das Gewicht der Erde bestimmen. Bevor von den drei Methoden, welche zu diesem Zwecke in Anwendung gebracht worden sind, die Rede ist, mag es nicht überflüssig erscheinen, an einige auf den Gegenstand bezügliche Sätze aus der Physik zu erinnern.

Unter Masse eines Körpers versteht man bekanntlich die Menge der Atome, welche in seinem Raum enthalten sind. Bei keinem Körper ist aber die Raumerfüllung stetig, sondern atomweise, d. h. die Körperatome sind durch leere (wenigstens nicht von demselben Stoffe erfüllte) Zwischenräume getrennt. Da nun die Schwere atomweise wirkt (2), so ist ihre Gesammtwirkung auf einen Körper, d. h. sein Gewicht, das natürliche Maß für die Menge seiner Atome, oder für seine Masse. Bei verschiedenen Stoffen ist ferner die Raumerfüllung dem Grade nach verschieden, worin ihre verschiedene Dichtigkeit besteht, und dies zeigt sich in der Verschiedenheit des Gewichts bei gleichem Rauminhalt. Um das Gewicht der Körper in dieser Hinsicht zu vergleichen, wird gewöhnlich das Gewicht einer Raumeinheit von destillirtem Wasser = 1 gesetzt und damit das der übrigen Körper verglichen. Man lege z. B. in die eine Schale einer Wage einen Kubikzoll Wasser und in die andere einen Kubikzoll Blei. Da hier auf beiden Seiten Massen von gleicher Raumerfüllung liegen, so könnte man vielleicht erwarten, daß zwischen ihnen ein Gleichgewicht stattfinde; allein statt dessen zeigt es sich, daß man 11 Kubikzoll Wasser in die Wagschale legen muß, um jenem einzigen Kubikzoll Blei das Gleichgewicht zu halten. Hätte man statt des Blei's einen Kubikzoll Quecksilber oder Gold genommen, so würde man zur Erhaltung des Gleichgewichts 13 und 19 Kubikzoll Wasser bedurft haben. Stellen wir denselben Versuch mit einem Kubikzoll Wasser und eben so viel Weingeist an, so wird im Gegentheil zu Obigem die Menge des Weingeistes vermehrt oder die des Wassers vermindert werden müssen. Daraus erhellt also, daß verschiedene Körper in gleichem Raume eine verschiedene Menge von Atomen enthalten. Ein Kubikzoll Blei z. B. enthält unstreitig 11mal so viel Masse als ein Kubikzoll Wasser und wiegt daher 11 mal so viel als dieser. Die Zahl nun, welche ausdrückt, wie viel mal ein Kubikzoll eines Körpers mehr oder weniger wiegt als ein Kubikzoll Wasser, heißt die Dichte oder das specifische Gewicht eines Körpers, während die Menge der Masse allein das absolute Gewicht desselben bestimmt. Der specifisch schwerere Körper wird daher in demselben Verhältniß dichter, in welchem sein specifisches Gewicht zunimmt, und umgekehrt.

Es ist begreiflich, daß wir durch directe Wägungen nur die Dichte des für uns zugänglichen Theiles der Erdrinde zu bestimmen vermögen, welcher denn auch seiner specifischen Schwere nach bekannt ist. Das leichte Wasser und die schweren Metalle, von denen das erstere nur bis zu einer verhältnißmäßig

geringen Tiefe reicht, letztere aber durchschnittlich in zu geringer Mächtigkeit gefunden werden, kann man als sich gegenseitig aufhebend betrachten. Auch ist erwiesen, daß nicht alle Granite gleichgewichtig sind, indem die Mineralien der älteren Granite leichter sind, als die der neueren, welche aus größerer Tiefe stammen. Die Massen nun, welche im Großen die uns bekannte Erdkruste zusammensetzen, sind wesentlich folgende:

Sand . . .	2,50	spec. Gewicht, das reine Wasser = 1 ges.
Granit . . .	2,54	= =
Thon . . .	2,63	= =
Kiesel . . .	2,66	= =
Kalk . . .	2,74	= =
Glimmerschiefer	2,93	= =
	2,663	spec. Gewicht.

Da der uns zugängliche Theil der Erdrinde nicht den tausendsten Theil des gesammten Erdkörpers ausmacht, so können wir von diesem geringen Theile um so weniger auf das Ganze schließen, als anderweitige Gründe genug vorhanden sind zu der Vermuthung, daß das Innere der Erde eine von der Rinde sehr verschiedene Dichte habe. Allein wenn man das Pendel in die Nähe solcher Massen bringt, die, obgleich zum Erdganzen gehörig, doch außerhalb ihrer regelmäßigen Figur liegen, wie Berge, oder auch von ihr getrennt sind, wie künstliche Kugeln, so werden diese ihrerseits eine Anziehung ausüben, welche sich bei zweckmäßiger Anordnung des Versuchs als getrennt von der Erdanziehung darstellen läßt, folglich durch Rechnung mit letzterer verglichen werden kann. Freilich wird auch selbst der höchste Berg dem Volumen und der Masse nach gewiß um viele Millionen mal kleiner sein als die Erde; allein da er zugleich dem Pendel viel näher ist als die Erdmitte, so ist der Unterschied beider Anziehungen zwar noch immer sehr groß, aber doch nicht so groß, als es auf den ersten Blick scheinen möchte. Wenigstens haben die anzuführenden Erfahrungen dargethan, daß es nur sehr sorgfältigen Beobachtungen gelingt, die Unterschiede mit hinreichender Sicherheit wahrzunehmen.

Die erste der drei oben erwähnten Methoden zur Bestimmung der Erddichte besteht in Pendelbeobachtungen auf einem hohen Berge. Seine Schwingungen, um an Früheres zu erinnern, sind bedingt durch die Schwere, so daß man durch die Anzahl der Schwingungen die Anziehungskraft oder Dichte der Erde messen kann. Da nun die Anziehung in

quadratischem Verhältniß der Entfernung abnimmt, so muß ein Pendel auf einem hohen Berge weniger Schwingungen als am Fuße desselben machen. Wird die Masse des Berges = 0 angenommen, so läßt sich berechnen, wie viele Schwingungen das Pendel in einer gegebenen Zeit auf seiner Höhe machen muß. Ein Secundenpendel, welches unten in einem Tage 86400 Schwingungen macht, würde unter dieser Voraussetzung, und wenn die Höhe des Berges $^1/_{2000}$ des Erdhalbmessers (über 18000 Fuß) angenommen wird, oben nur 86314 Schwingungen machen. Wenn man nun auf der Bergspitze gleichfalls beobachtet, so findet man mehr Schwingungen, als die Berechnung ergab, weil die Anziehung des Berges hinzugekommen. Findet sich nun bei Beobachtung des Pendels auf der Höhe des Berges, daß dasselbe 86322 Schwingungen macht, so wird 86322 — 86314 = 8 von der Anziehung des Berges herrühren, die sich also zu der der Erde verhält wie 1 zu $\frac{86314}{8} = 10800$. Jetzt hat man nur noch das Volumen und specifische Gewicht des Berges zu berechnen, um zu einem numerischen Ausdruck für die Dichte des Erdkörpers zu gelangen. Carlini und Biot haben Messungen dieser Art, jener auf dem Mont Cenis, dieser zu Bordeaux gemacht, welche, mit einander verglichen, eine mittlere Dichte von 4,837 ergaben, die Dichtigkeit des reinen Wassers bei einer Temperatur von 3,4° R. als Einheit angenommen. Es ist übrigens bei dieser Methode (sowie bei der folgenden) keineswegs absolut nothwendig, eine Masse zu wählen, welche als Berg über die mittlere Erdoberfläche hervorragt. Auch in freier Ebene, wenn der Boden weit herum aus viel schwereren Massen besteht, muß das Pendel schneller schwingen. So in der Gegend von Porto Ferrajo auf Elba, wo der Boden fast ganz aus Eisen besteht. In den oberen Zimmern großer Blei- oder Eisenmagazine kann man an genauen Pendeluhren diese Beschleunigung schon wahrnehmen. So wird das Pendel ein Mittel, die Ungleichheiten der Dichtigkeit des Bodens im Allgemeinen kennen zu lernen.

Nach der zweiten Methode beobachtet man die Ablenkung, welche das Pendel in der Nähe eines großen Berges erfährt, worauf das Volumen und specifische Gewicht durch directe Wägungen und Messungen bestimmt wird. Zum Verständniß dieser Methode erinnere man sich, daß ein sich selbst überlassenes Pendel sich in die Richtung der Schwere stellt, d. h. senkrecht zur Oberfläche, wenn die anziehenden Theile des Erdkörpers gleichmäßig vertheilt sind. Würde diese Gleichmäßigkeit auf irgend eine Weise gestört,

so daß die Anziehung, welche die einzelnen Theile der Erde auf das Pendel ausüben, nicht mehr nach allen Seiten dieselbe ist, so muß sich auch die Richtung des Pendels ändern, indem sie sich mehr nach derjenigen Seite neigt, auf welcher die Anziehung am stärksten wirkt. Dies zeigt sich nun bei Versuchen mit Beobachtungen des Pendels in der Nähe eines großen Berges. — Der bekannteste dieser Versuche wurde in den Jahren 1774—1776 durch den englischen Astronomen Maskelyne in Verbindung mit Hutton angestellt. Er wählte dazu den Berg Shehallien im schottischen Hochland. Er besteht aus Granit, und erleichterte deshalb und wegen seiner regelmäßigen Gestalt, isolirten Lage, schmalen Grundfläche und seiner Streichungslinie von Osten nach Westen die Aufstellung der Instrumente, die Beobachtung der Ablenkung des Pendels und die Berechnung seines körperlichen Inhaltes; auch konnte man die beiden Beobachtungsorte durch Triangulation verbinden. Gesetzt, Fig. 13, Taf. VII stelle einen Abschnitt des Berges, und zwar N die nördliche, S die südliche Beobachtungsstation dar. Bei N und S wurden Sterne mit dem Zenith-Sector beobachtet, und es wurde mit demselben der Unterschied der Richtungen der Schwere an diesen beiden Stationen genau so gefunden, wie der Unterschied in den Richtungen der Schwere auf den beiden Stationen einer Meridianvermessung. Angenommen, es wäre bei N, wenn sich dort kein Berg befände, die Richtung der Schwere NE, so würde, wenn wir uns den Berg daselbst denken, die Anziehungskraft desselben das Bleiloth seitwärts nach dem Mittelpunct des Berges ziehen und die Richtung der Schwerkraft würde Ne sein, weil in der Richtung des Berges die Anziehung am stärksten ist. Ebenso würde bei S, den Berg weggedacht, die Richtung der Schwere SF sein; denken wir uns aber den Berg hinzu, so wird durch die Wirkung seiner Anziehung das Loth nach seinem Mittelpunct abgelenkt, und die Richtung der Schwere wird Sf sein. Beachten wir nun die Einwirkung des Berges, so ist bei N die Richtung der Schwere Ne statt NE, und bei S ist sie Sf statt SF, das heißt, die beiden Richtungen, welche durch das Loth des Zenith-Sectors genommen sind, bilden einen größeren Winkel, als es der Fall sein würde, wenn der Berg nicht da wäre. Wir gelangen nun zu dem Punct der eigentlichen Untersuchung. Wir kennen die allgemeinen Dimensionen der Erde, wir kennen die Neigung des Bleiloths bei N und S, wenn kein Berg da wäre; es ist ferner allgemeine Regel, daß, wenn man fast 100 Fuß weiter geht, die Richtung des Bleiloths sich um 1 Secunde ändert. Wenn man nun den

Abstand von unserem Beobachtungsort bei N bis zu dem bei S findet, so kann man auch aus jenem Abstande ableiten, um wie viel die Richtungen des Lothes bei N und S zu einander geneigt sein würden, wenn kein Berg vorhanden wäre, und man kann jene Neigung vergleichen mit der, welche man mit Hülfe des Zenith-Sectors beobachtet hat. Die Beobachtungen wurden also genau so gemacht, wie die zur Bestimmung der Erdgestalt. Der Zenith-Sector wurde erst nach N getragen, und gewisse Sterne beobachtet, dann nach S, wo dieselben Sterne beobachtet wurden. Durch diese Sternbeobachtungen fand man die wirklichen Neigungen der Lothe an beiden Orten. Hierauf veranstaltete man eine Vermessung durch Triangulation quer über den Berg. Es ergab sich hinsichtlich der Entfernung zwischen beiden Stationen, daß, wenn kein Berg da wäre, die Neigung der beiden Hänglothe 41 Secunden sein müßte, während sie auf praktischem Wege, durch Beobachtungen mit dem Hänglothe zu 53 Secunden gefunden würde. Der Unterschied der beiden Winkel rührte von der Einwirkung des Berges her. Dieser hatte das Bleiloth an der einen Station nach der einen, an der anderen nach der entgegengesetzten Richtung in einem solchen Grade gezogen, daß die beiden Lothe statt eines Winkels von 41 Secunden einen Winkel von 53 Secunden machten; oder mit anderen Worten, daß die Summe der Wirkungen der beidesmaligen Anziehungen des Berges, an den entgegengesetzten Seiten, 12 Secunden betrug.

Zunächst bestimmte man aus dieser Beobachtung die mittlere Dichte der Erde. Es wurde zu diesem Ende der Berg vermessen, gezeichnet, überhaupt so vollständig aufgenommen, daß ein Modell davon hätte gemacht werden können. Darauf wurde er, der Rechnung wegen, in Prismen von verschiedenen Formen getheilt, und die Anziehung eines jeden derselben nach der Annahme berechnet, daß die Dichtigkeit des Berges der mittleren Dichte der Erde gleich sei, und hieraus wurde die Anziehung des ganzen Berges nach derselben Voraussetzung gefunden. So fand man, daß, wenn die Dichtigkeit des Berges der mittleren Dichtigkeit der Erde gleich gewesen wäre, die Gesammtwirkungen der Anziehung des Berges bei N und S ungefähr $^1/_{9933}$ der Erdanziehung gewesen wären. Aber die Gesammtwirkungen, welche man beobachtet hatte, waren 12 Secunden, welches $^1/_{17804}$ der Erdanziehung entspricht. Daher beträgt die Dichtigkeit des Berges, da die Erde im Verhältniß von 17804 : 9933, oder 9 : 5 dichter als der Berg ist, nur etwa $^5/_9$ von der mittleren Dichte der Erde, oder diese ist fast doppelt so groß, als die des Berges. Die Natur

der Felsarten wurde nun sorgfältig untersucht und ihre Dichtigkeit im Vergleich zum Wasser bestimmt, und es ergab sich, daß die mittlere Dichte der Erde 4,5 mal so dicht sei, als eine eben so große Kugel von reinem Wasser. Eine andere Ausführung dieser schwierigen Rechnung ergab 4,713. Wir ersehen also, daß die Werthe dieser und der ersten Methode nahe mit einander übereinstimmen.

Die dritte Methode wurde von Cavendish, Reich und Bailey angewandt, und der Apparat, dessen sie sich bedienten, war die Coulomb'sche Drehwage, Fig. 14, ein wagrechtes Pendel, dem, wie einer Compaßnadel, jede wagrechte Bewegung ungehemmt sein muß. Zwei kleine Kugeln A und B (etwa 2 Zoll im Durchmesser) werden von einem Arme ACB getragen, der an einem Drahte DE aufgehängt ist. Durch ein Fernrohr wurde die Lage dieser Kugeln aus der Ferne beobachtet; denn der Beobachter durfte sich dem Apparate nicht nähern, theils um jede Erschütterung desselben zu verhindern, theils auch weil die Leibeswärme Luftströmungen erzeugt hätte, welche die beiden Kugeln sehr gestört haben würden. Als die Lage der kleinen Kugeln beobachtet war, wurden große, bleierne Kugeln, F und G, ungefähr 12 Zoll im Durchmesser, die sich auf einem Drehgestell bewegten, in ihre Nähe gebracht; aber noch waren sie durch ein halb Dutzend Lagen von Holzschachteln von einander getrennt, so daß keine andere Wirkung als diejenige durch die Anziehung der großen Kugeln hervorgebracht werden konnte. Nun beobachtete man, um wie viel diese kleineren Kugeln durch die großen aus ihren Stellen gezogen wurden. Durch eine andere Bewegung des Drehgestells konnten die größeren Kugeln in die Lage HK gebracht werden. In jedem Falle war die Bewegung der kleinen Kugeln, welche durch die Anziehung der größeren hervorgebracht wurde, gar nicht zu läugnen. Stets wurden die kleinen Kugeln vermöge dieser Anziehung in eine schwingende Bewegung versetzt. Werden nun die äußersten Entfernungen, bis zu welchen sie in beiden Fällen schwingen, beobachtet und wird aus ihnen die mittlere genommen, so findet man den Ort, an welchem die Anziehung der großen Kugeln sie dauernd erhalten würde. Angenommen, man hätte gefunden, daß die großen Kugeln die kleinen einen Zoll weit von ihrem früheren Ruheplatze verzogen, so müßte berechnet werden, welche Zugkraft dabei thätig gewesen. Es ist nun bekannt, daß, wenn ein Kugeln tragender Stab mittelst eines Drahtes aufgehängt wird, der Raum, durch welchen die Kugeln seitwärts gezogen werden, genau im Verhältniß zu der Kraft ist, die sie seit-

närts zieht. In dieser Hinsicht ist das Gesetz der auf den aufgehängten Stab wirkenden Kräfte genau dem Gesetze von Kräften ähnlich, welche seitwäts auf ein in einem mäßig kleinen Bogen schwingendes verticales Pendel wirken. Daraus läßt sich nun die Zugkraft berechnen, welche einer seitlichen Verrückung von einem Zoll entspricht; und daraus kann dann die Anziehung gefunden werden, welche irgend einer beobachteten Verrückung entspricht. Welche Feinheit in der Beobachtung und Berechnung der Anziehung der großen Kugeln diese Methode erfordert, kann man aus dem Umstande beurtheilen, daß die ganze Anziehung sich nur auf ungefähr $^1/_{20000000}$ des Gewichts der kleinen Kugeln belief. Es kam nun darauf an, da die Größe der großen Kugeln und ihre Abstände von den kleinen im Experimente, da ferner auch die Größe der Erde und die Entfernung der kleinen Kugeln vom Erdmittelpunct bekannt sind, zu berechnen, in welchem Verhältniß die Anziehung der großen Kugeln auf die kleinen zu der Anziehung der Erde auf die kleinen steht, wenn die Dichtigkeit der Bleikugeln der mittleren Dichtigkeit der Erde gleich wäre. Man fand, daß dies eine geringere Anziehung, als die aus den Beobachtungen berechnete, hervorbringen würde. Folglich ist in diesem Verhältniß die mittlere Dichte der Erde geringer als die des Bleis. Reich und Bailey berechneten nahe übereinstimmend 5,44 und 5,67 als mittlere Dichtigkeit der Erde, also mehr, als nach den beiden ersten Methoden. Dieses Resultat ist wahrscheinlich das genauere, schon einfach darum, weil über die Zusammensetzung der Felsen und Erzgänge, die das Innere eines Berges bilden können, stets einige Ungewißheit herrscht; auch wird der Werth, den Bailey gefunden, gewöhnlich vorgezogen.

Aus allen drei Methoden ergibt sich eine mittlere Erddichte, welche größer ist, als die derjenigen Substanzen, welche die Erdtheile hauptsächlich bilden; es muß also das Erdinnere dichter sein, als die uns bekannte Kruste. Die Beobachtung des Pendels in großen Tiefen hatte diese Dichtigkeit sogar auf 12 steigen lassen und somit gezeigt, daß sie schnell zunimmt, je weiter man unter die Erdoberfläche hinabsteigt, woraus aber folgt, daß diese Zunahme an irgend einem nicht allzu tief gelegenen Puncte unterbrochen sein muß — vielleicht an der inneren Grenze der Erdkruste — weil sonst die gefundene mittlere Dichtigkeit weit übertroffen werden würde. Man hat auch, nach Humboldt, berechnet, daß der Druck der übereinander liegenden Massen allein schon eine weit größere Dichtigkeitszunahme, als die so übereinstimmend gefundene bedingen würde, weshalb man sich mehr nach einer

Ursache für die zu geringe, als zu große Dichte der Erde umzusehen hätte. B. Cotta glaubt diese in der gegen das Erdinnere zunehmenden Temperatur zu finden, welche nothwendig expandirend wirken, und dadurch die Folgen des ungeheuren Druckes in etwas aufheben müsse. Ist diese Erklärung richtig, so bietet uns die bekannte mittlere Dichte des Erdinnern ein Hülfsmittel, um den Temperaturgrad desselben annähernd zu bestimmen.

Will man endlich das Gewicht der Erde und der übrigen Körper des Sonnensystems bestimmen, so ist dazu die Annahme des Gesetzes der Schwere, welches allen diesen Beweisen zu Grunde liegt und überhaupt in seiner Anwendung das allgemeinste unter allen bekannten Naturgesetzen ist, durchaus nothwendig. Wir kennen die Größenverhältnisse der Erde (34). Jede Cubikmeile enthält 13 Billionen 824000 Millionen Cubikfuß; jeder Cubikfuß wiegt durchschnittlich 5,67 mal soviel als ein Cubikfuß Wasser, oder das ganze Erdsphäroid wiegt 5,67 mal soviel als ein gleich großes Wassersphäroid. Nimmt man das Gewicht eines Cubikfußes Wasser zu 66 Pfund, so wiegt die Erde, hiernach berechnet, in runder Zahl 12 Quadrillionen Pfund. — Die Sonne übertrifft die Erde an Masse etwa um das 355000fache; ihr Gewicht beträgt demnach $4^1/_2$ Quintillionen Pfunde. Der Mond enthält nahe den 88. Theil der Erdmasse; also wiegt derselbe den 88. Theil von 12 Quadrillionen, oder 136000 Trillionen Pfund. Rechnet man sämmtliche Planeten und Nebenplaneten zusammengenommen in runder Zahl gleich $^1/_{700}$ der Sonnenmasse, so wiegen sie $^1/_{140}$ Quintillionen oder 6085 Quadrillionen Pfund, und das ganze Sonnensystem, mit Ausschluß der geringfügigen Massen der Cometen, nahe $4^3/_{10}$ Quintillionen Pfund.

Künstliche Darstellungen der Erde.

36. Die künstlichen Darstellungen der Erde sind bekanntlich der Erdglobus und die Karten, wobei die Erde als Kugel angenommen wird (34).

Der Erdglobus ist eine Kugel, auf deren Oberfläche eine Darstellung der Erdoberfläche, namentlich auch des Coordinatensystems des Aequators nebst der Ekliptik entworfen ist, und welche in einem passenden Gestelle um eine durch die Pole gehende Achse gedreht werden kann. Am Nordpol des Globus ist ein Zeiger an einem Stifte so angebracht, daß er sich mit dem Stifte und der Kugel zugleich dreht, aber auch für sich

allein um den Stift geschoben werden kann. Den Stift, als Mittelpunct, umgibt ein kleiner, am Meridian befestigter Kreis, welcher in 24 gleiche Theile getheilt und mit den Zahlen der Uhrstunden (1—12) zu beiden Hälften dergestalt bezeichnet ist, daß sich die beiden 12, die Mittags- und Mitternachtsstunde, unten und oben am Meridian endigen, Fig. 2, Taf. VII. Da die volle Umdrehung des Globus, und also des Zeigers, 24 Sternstunden ausmacht, so gibt der Zeiger an, wie viel Sternzeit jedem Theile einer Umdrehung zukömmt, und der Kreis heißt deswegen der Stundenkreis. Denkt man sich den Erdglobus als Mittelpunct der Himmelshohlkugel, so lassen sich alle an der Innenfläche der letzteren angenommenen Kreise auf die Oberfläche des Globus concentrisch übertragen. Zur sinnlichen Unterstützung eignet sich hierfür die Armillar-Sphäre, eine aus den an der Himmelskugel angenommenen Kreisen zusammengesetzte Hohlkugel, in deren Mittelpunct eine kleine Erdkugel angebracht ist. Unter den Parallelkreisen sind zu merken die beiden Wendekreise des Krebses und Steinbocks, $23^1/_2{}^0$ nördlich und südlich vom Aequator, zwischen denen sich die Ekliptik rund um den Globus herumzieht, und die beiden Polarkreise, welche gleichfalls $23^1/_2{}^0$ von jedem der beiden Pole abstehen. — Da man die Grade der Länge und Breite auf einer Kugel in ihrem richtigen Verhältniß auftragen und ein getreues Bild der Länder geben kann; so würde, abgesehen von den astronomischen Beziehungen, ein Relief-Globus, der die Berge in demselben verjüngten Maßstabe wie die horizontalen Dimensionen wiedergäbe, die Erde am vollkommensten darstellen. Nur selten wird aber diese Darstellungsweise in Ausführung gebracht, weil selbst bei einem bedeutenden Durchmesser des Globus sogar die höchsten Gebirge noch sehr unscheinbar bleiben, weshalb die gewöhnlichen Relief-Globen für die Höhen oft einen 10 bis 20fach größeren Maßstab wählen, als für die horizontalen Dimensionen.

Auf einer Fläche läßt sich eigentlich nicht die Erdoberfläche selbst, sondern nur eine Projection derselben darstellen. Man denkt sich an einem beliebigen Punct der Erdoberfläche eine tangirende Ebene und das Auge des Beschauers in irgend einem Puncte außerhalb oder innerhalb der Kugel, zieht sodann Linien vom Auge zu dem darzustellenden Puncte der Oberfläche und verlängert sie bis zu dieser oder einer ihr parallelen Ebene, so erhält man auf ihr die Projectionen der darzustellenden Puncte. — Eine der vorzüglichsten Projectionen ist die stereographische, welche nach dem angenommenen Orte des beob-

achtenden Auges wieder in die Polar-, Aequatorial- und Horizontal-Projection eingetheilt wird. Nach ihr erscheinen die vom Mittelpuncte entfernten Theile erweitert, behalten übrigens ihre Figur bei, so daß z. B. ein Kreis überall Kreis bleibt, was der Strenge nach freilich nur für sehr kleine Flächentheile gültig ist. Bei der stereographischen Polar-Projection befindet sich das Auge im entgegengesetzten Pole der als hohl oder durchsichtig gedachten Kugel, und projicirt die übersehene Halbkugel auf eine im Aequator liegende Ebene. Der Aequator wird daher ein größter Kreis, RHC Fig. 1, Taf. VIII, in dessen Centrum derjenige Pol projicirt werden muß, in welchem nicht das Auge sich befindet. Dabei müssen natürlich die Grade des Aequators in gleichem Abstande von einander im Kreise RHC erscheinen, die Meridiane aber als gerade, im gesehenen Pole C sich schneidende Linien. Durch geometrische Demonstrationen kann gezeigt werden, daß die Halbmesser der zu zeichnenden Parallelen durch die Durchschnittspuncte der von R aus nach den Graden im Aequator, also nach a, b, c ... gezogenen geraden Linien mit dem ersten Meridian HC gegeben werden. — Die stereographische Aequatorial-Projection verdient im Allgemeinen vor der polaren den Vorzug, weil sie sich nicht nur für Planiglobien, sondern auch für Darstellungen einzelner Erdtheile, besonders in mittleren Breiten eignet. Es befindet sich dabei das Auge in der Ebene des Aequators. Dieser und der mittelste, ihn normal durchschneidende Meridian bilden auf der Projectionsscheibe der Halbkugel gerade Linien, um welche die übrigen Meridiane und Parallelen in stets abnehmenden Kreisen herumliegen. Es ergibt sich dann, daß der Meridian RHo, Fig. 2, Taf. VIII, als Kreis erscheinen müsse, in welchen die Parallelen in gleichen Abständen von einander einschneiden. Werden dann die geraden Linien R_{10}, R_{20}, R_{30} ... gezogen, so geben ihre Durchschnittspuncte mit CH, dem ersten Meridian, den Abstand der Parallelen von C, und wenn man diese Abstände $C\alpha$, $C\beta$, $C\gamma$ ... auf CR aufträgt, den Abstand der Meridiane. Um aber die Abstände zu finden, aus denen die Kreise zu ziehen sind, welche die Meridiane und Parallelen darstellen, nachdem der Kreis RHo in die gehörigen gleichen Theile getheilt ist, zieht man z. B. für den 60. Grad der Breite die Linie Ce, verlängert diese, bis sie die durch H mit Ro parallele in b schneidet, und trägt cb auf die verlängerte CH in f, so ist f der Punct, aus welchem der Parallel durch 40° der Breite gezogen werden muß. Um endlich den Punct zu finden, aus welchem die Meridiane durch die vorher auf Ro abgesteckten Puncte 10, 20, 30 ...

gezogen werden müssen, zieht man z. B. für den 40. Grad der Länge von H aus durch einen, von H um 2 × 40 Grade abstehenden Punct die gerade Linie Hd, und wo diese die Linie Ro, also den Aequator oder dessen Verlängerung schneidet, da ist, z. B. in d, der Mittelpunct des Kreises, welcher den Meridian durch den 40. Grad der Länge darstellt. — Die Horizontal-Projection ist diejenige, durch welche die Halbkugel unter irgend einer nördlichen oder südlichen Breite abgebildet wird. Hierbei ist der mittelste Meridian, welcher am zweckmäßigsten die Mitte des darzustellenden Landes durchschneidet, eine gerade Linie, ebenso derjenige Parallel, welcher soweit vom Aequator absteht, als die Polhöhe für die Karte angenommen ist. Diese Projectionen eignen sich vorzüglich zur Abbildung der beiden Halbkugeln und haben den großen Vorzug, daß sich die Meridiane und Parallelen rechtwinklig schneiden.

Außer der stereographischen hat man noch die orthographische und Centralprojection. Erstere setzt das Auge in unendliche Entfernung von der beobachteten Kugel, weshalb der Lichtkegel sich in einen Cylinder verwandeln, die Kugel als Scheibe und die Parallelen, sowie die Meridiane als gerade Linien erscheinen müssen. Man gebraucht sie ausschließlich zu astronomischen Zwecken. — Die Centralprojection setzt das Auge in das Centrum der beobachteten Kugel und projicirt das Bild auf eine berührende Ebene. Sie wird stets zur Zeichnung von Himmelskarten angewandt und ist gleichfalls polar, äquatorial und horizontal. Nach ihr werden die Meridiane gerade Linien, die Parallelen aber Kegelschnitte, und nur bei der polaren sind sie Kreise.

Dritte Abtheilung.

Jährliche Bewegung der Erde.

Scheinbare jährliche Bewegung der Gestirne und der Sonne. Ekliptik.

37. Alle Ortsveränderung der Sterne am Himmel ist eine wirkliche oder scheinbare; sie hängt einestheils von den eigenen Bewegungen derselben, anderntheils von den Bewegungen der Erde ab. Eine scheinbare Bewegung der Gestirne ist der uns bekannte tägliche Kreislauf derselben um die Erde und die Weltachse, als eine Folge der Rotation, ferner das Hin- und Hergehen der Planeten gegen die Fixsterne und die Fortrückung der Sonne von Westen nach Osten, mit welcher wir uns zunächst zu befassen haben. An die Stelle der künstlichen Hypothesen, wodurch man die letztgenannten Bewegungen erklären wollte, setzte Copernicus die einfache, naturgemäßere Lehre vom jährlichen Umlauf der Erde um die Sonne. Dieser Jahreslauf der Erde gibt sich, wie ihre Rotation, in der Veränderung ihrer Umgebung kund, wie sich aus Folgendem ergeben wird.

Bei einer genaueren Beobachtung nehmen wir wahr, daß sämmtliche Fixsterne, außer der scheinbaren täglichen, noch eine viel langsamere Bewegung am Himmel in der nämlichen Richtung von Osten nach Westen zeigen.

Fixsterne nämlich, welche kurz nach Untergang der Sonne am Abendhimmel erscheinen, sich also östlich von derselben befinden, werden nach einigen Tagen des Abends immer schwieriger wahrzunehmen sein, bis sie, vom Glanze der Sonne ausgelöscht, nicht mehr zu sehen sind. Aber ungefähr nach 4 Wochen werden dieselben Sterne sich des Morgens kurz vor Sonnenaufgang am Morgenhimmel zeigen, zwar noch in der Nähe der Sonne, aber jetzt offenbar westlich von ihr. Sieht man ferner zu einer bestimmten Stunde der Nacht, z. B. am 1. Januar das Sternbild des Orion im Meridian, so stehen Aldebaran und die Plejaden im Westen desselben und Sirius hat ihn noch nicht erreicht. Zu derselben Stunde gehen am 1. Februar Aldebaran und die Plejaden im Westen unter, dem Orion ebenfalls um ein gutes Stück entgegengerückt ist, während Sirius den Meridian ein wenig überschritten hat, in dessen Nähe nun Castor und Pollux nebst Procyon sind. Am 1. März zu derselben Tageszeit geht Orion unter, Castor, Pollux, Sirius und Procyon haben sich nach Westen vom Meridian entfernt, dem sich nunmehr das helle Sternbild des Löwen nähert, welches am 1. April denselben passirt hat. So bewegen sich sämmtliche Sterne auch während der übrigen Monate des Jahres in derselben Richtung nach Westen fort, und die Erscheinung ist alljährlich genau dieselbe, so daß in jedem Jahr an denselben Tagen irgend ein Gestirn genau dieselbe Stelle am Himmel wieder einnimmt. Aus dieser Bewegung der Gestirne folgt ein mit jedem folgenden Tage „verfrühter" Meridiangang derselben. Denn faßt man irgend einen Stern ins Auge, der an einem bestimmten Tage etwa Abends 10 Uhr nach Sonnenzeit culminirt, so erscheint er am folgenden Tage gegen 4, am dritten gegen 8, nach einer Woche über 27 Minuten vor 10 Uhr im Meridian des betreffenden Erdortes, bis diese „Verfrühung" einen vollen Tag ausmacht, und der Stern wieder um 10 Uhr culminirt. Dann ist die Sonne in dieselbe Stellung zu jenem Stern zurückgekehrt, und der Zeitraum beträgt soviel Sonnentage, als jene tägliche Verfrühung (genau 236,1 Secunden) in einem Sonnentage, oder in 86400 Secunden enthalten ist, d. h. etwas über 365 Sonnentage, denen 366 Sterntage entsprechen, weil der Stern offenbar einmal mehr culminirt hat, als die Sonne.

Weil diese westliche Bewegung der Fixsterne bei allen ganz dieselbe ist, keiner dabei irgend eine Besonderheit zeigt und alle insgesammt, wie wenn sie ein unter einander verbundenes Ganzes bildeten, dazu ein Sonnenjahr gebrauchen; so kann sie, wie ihre tägliche Bewegung und ihr Auf- und

Untergang, nur scheinbar sein und muß daher rühren, daß die Sonne in der Richtung von Westen nach Osten unter den Sternen ringsum wandelt. Da wir nämlich unsere Zeitbestimmung auf die Bewegung der Sonne zu beziehen gewohnt sind, so scheinen die Sterne mit Rücksicht auf die Sonne, welche zu einer bestimmten Zeit eine gewisse Stellung am Himmel einnimmt, sich in der Richtung von Osten nach Westen bewegt zu haben. Man kann daher die beschriebene Bewegung auch so auffassen: Wir beobachten mit Hülfe des Mittagsrohres, daß die Sonne täglich um etwa 4 Minuten später in den Meridian tritt, als ein Stern, und daß sie, so oft sie in den Meridian tritt, mit Rücksicht auf die Sterne in der Art nach links oder nach Osten fortrückt, daß sie in der scheinbaren täglichen Bewegung an jedem Tage immer mehr zurückbleibt, bis sie nach einem Jahre, wenn sie diese Bewegung von Westen nach Osten vollendet hat, wieder die anfängliche Stellung einnimmt.

Die Sonne zeigt aber außer dieser Bewegung noch eine andere, sie ändert in demselben Zeitraum eines Jahres ihre Stelle am Himmel gegen den Aequator und Pol, eine Bewegung, welche bekannt genug ist, und niemals bei einem Fixsterne wahrgenommen wird. Die Sonne steht nämlich Mittags im Sommer hoch, im Winter niedrig, im Sommer ist sie, umgekehrt wie im Winter, eine lange Zeit über dem Horizont und kurze Zeit unter demselben, im Sommer endlich geht sie nördlich vom Ostpunct auf und nördlich vom Westpunct nieder, und südlich von diesen Puncten im Winter. Während also ein Fixstern (wenigstens für sehr lange Zeiträume) über demselben Parallel senkrecht bleibt, in denselben Puncten des Horizonts auf- und untergeht, dieselbe Höhe über dem Horizonte erreicht und gleich lang über demselben verweilt, ändert sich das Alles bei der Sonne schon von einem Tag zum anderen, indem sie während eines Jahres vom Aequator nach beiden Polen hin bis zu einem Größten abweicht und somit die Zeit ihres Verweilens sowie ihre Höhe über dem Horizonte eines Erdortes beständig ändert. Die erstere Bewegung, die tägliche Verspätung im Meridian, wird im Mittagsrohr, die soeben beschriebene mittelst des Meridiankreises beobachtet, also daß die Sonne nach links oder gegen Osten sich bewegt und zugleich in der warmen Jahreszeit dem Nordpol, in der kalten dem Südpol sich nähert. Wollte man an der Himmelskugel eine Reihe von beobachteten Orten der Sonne durch Puncte bezeichnen, so würden sie einander in einer krummen Linie folgen, wie Fig. 3, Taf. VIII zeigt. Diese krumme Linie

heißt Ekliptik*) und wird auf den Aequator bezogen, den sie in zwei Puncten kreuzt. Genauer noch, als Beobachtungen, zeigen Berechnungen, daß die Ekliptik, oder die scheinbare Bahn der Sonne durch die Sterne, ein größter Kreis ist, welcher die Himmelskugel in zwei gleiche Hälften theilt, während er selbst zur Hälfte nördlich, zur Hälfte südlich vom Aequator sich um die Himmelskugel zieht.

Die Ekliptik ♈♉♎♋♈, Fig. 4, durchkreuzt den Aequator ♈♎♈ unter einem Winkel von 23° 30′ (genauer 23° 28′ mit einer Säcularabnahme von 48″), so daß der um diese Weite vom Aequator entfernteste Punct der nördlichen Halbkugel den Wendekreis des Krebses AB, der der südlichen den Wendekreis des Steinbocks CD berührt. Beide Parallelen haben diesen Namen erhalten, weil die Sonne, wenn sie dieselben in unserm Sommer und Winter berührt, nach scheinbarem kurzen Stillstande, sich wieder dem Aequator zuwendet. Sie schließen zusammen eine Zone von 23° 30′ + 23° 30′ = 47° Breite ein. Der Declinationskreis (1), welcher durch die Zeichen ♋ und ♑ geht, heißt Kolur der Sonnenwenden (Solstitien), während derjenige, welcher durch ♈ und ♎ geht, wo die Sonnenbahn den Aequator kreuzt, Kolur der Nachtgleichen (Aequinoctien) genannt wird. Die Ekliptik ist in die oben beschriebenen 12 Himmelszeichen (11) eingetheilt, von denen jedes 30° vom anderen entfernt ist, und welche zusammen den Thierkreis (Zodiacus) ausmachen. Zu beiden Seiten der Ekliptik sind auf 10° Abstand die Grenzen für den Thierkreis gezogen, innerhalb welchem außer der Sonne auch der Mond und die meisten Planeten sich aufhalten. — Am 21. März tritt die Sonne, von der Erde aus gesehen, in den Punct des Widders ♈ ein (Nullpunct des Aequators) und an diesem Tage ist auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich (Frühlingsäquinoctium). Von hier steigt sie nordwärts in das Zeichen des Stiers ♉, das sie am 20. April, und in das Zeichen der Zwillinge ♊, das sie am 21. Mai erreicht. Am 21. Juni, oder nach $94^1/_2$ Tagen vom Frühlingsäquinoctium an gerechnet, hat sie sich in dem Zeichen ♋ dem Nordpol am meisten genähert, indem sie den Wendekreis des Krebses berührt; sie steht im Sommersolstitium, die nördliche

*) Von Eklipsis, Finsterniß, weil Sonnen- und Mondfinsternisse nur in ihrer Nachbarschaft stattfinden.

Himmelskugel hat den längsten, die südliche den kürzesten Tag. Von diesem Puncte geht die Sonne wieder dem Aequator zu, tritt am 21. Juli in das Zeichen des Löwen ♌ und am 23. August in das der Jungfrau ♍. Nach $92^1/_2$ Tagen, vom Sommersolstitium an gerechnet, kreuzt sie am 23. September im Puncte ♎ den Aequator wieder, so daß aufs Neue auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich sind. Sie verläßt die Waage und nähert sich dem Südpol, indem auf der nördlichen Halbkugel die Tage abnehmen, auf der südlichen länger werden. Am 23. October gelangt sie zu dem Puncte ♏, am 22. November zum Schützen ♐, und am 21. December, nachdem vom Herbstäquinoctium an gezählt $88^1/_8$ Tage verflossen sind, berührt sie den Wendekreis des Steinbocks im Zeichen ♑, wo sie ihre größte südliche Abweichung erreicht hat, die auf der nördlichen Halbkugel den kürzesten, auf der südlichen den längsten Tag zur Folge hat. Vom Wintersolstitium an wendet sie sich wieder dem Aequator zu, erreicht am 20. Januar das Zeichen ♒, am 18. Februar den Punct ♓, bis sie, nach Verfluß von $90^1/_8$ Tagen, am 21. März wieder in den Frühlingspunct ♈ tritt.

Umlauf der Erde um die Sonne.

38. Da die Ebenen größter Kreise durch den Mittelpunct ihrer Kugeln gehen, so muß die Ebene der Ekliptik, als eines größten Kreises, durch den Mittelpunct der Himmelskugel gehen, d. i. die Sonne bewegt sich in einer Ebene, welche durch die Erde geht. Indem aber die Erde mit ihrem Mittelpuncte und ihrer Achse unverrückt bleibt, so muß die Sonne, um ihre Entfernung von den Polen stets ändern zu können, ringsherum in einer bestimmten Neigung zur Erdachse oder zur Ebene des Erdäquators gehen. Allein diese Bewegung der Sonne, an sich nicht unmöglich, ist doch im höchsten Grade unwahrscheinlich; denn die Annahme, daß alle übrigen der Erde ähnlichen Planeten um die Sonne, daß diese aber, welche zu allen Planeten in dem gemeinschaftlichen Gegensatze einer unvergleichbaren Größe, einer mächtigen Licht- und Wärmeentwicklung steht, sich mit den Planeten, als ihren Trabanten, um die Erde bewegen sollte, ist mit einer vernünftigen Betrachtung der Dinge unvereinbar und widerstreitet der Natur der Sache (25). Die Sonne ist, wie schon die ältesten Astronomen einsahen, der vorzüglichste Körper des Planetensystems, nicht nur die Quelle des Lichtes und der

Wärme für die Erde und die große Anzahl der anderen unserer Erde ähnlichen Himmelskörper, sondern auch die Ursache aller der mannigfaltigen Bewegungen, welche wir an diesen Himmelskörpern wahrnehmen. Die einfache und so lange verborgene Idee, daß alle Planeten Kreise von bestimmten Halbmessern beschreiben, in deren gemeinschaftlichem Mittelpunct die Sonne ruht, löste auf einmal alle die großen Schwierigkeiten, die den scharfsinnigsten Astronomen des Alterthums unübersteiglich schienen. Die Ebenen dieser Bahnen liegen alle in geringen Entfernungen um die Ekliptik, und die Bewegungen der Planeten gehen alle in der Richtung von West gegen Ost vor sich. Die Erde ist aber ein Planet, und so gewiß die übrigen Planeten um die Sonne kreisen, so gewiß thut es auch der dritte in ihrer Reihenfolge, die Erde, deren Bewegung dieselbe Richtung haben muß, wie die der übrigen, wenn die oben (37) erwähnten Erscheinungen statthaben sollen. Wenn daher die Erde in west-östlicher Richtung um die Sonne geht, so wird sich zwar der Ort ihres Mittelpunctes in Beziehung auf die Sonne ändern, aber die Richtung der Erdachse muß in Beziehung auf sich selbst dieselbe bleiben. Wir haben oben (27) die Ursachen kennen gelernt, welche bewirken, daß jede schnelle Kreisbewegung, also auch die Rotation der Erde, die Umdrehungsachse immer in derselben Richtung erhält, sowohl in der zu sich selbst parallelen Lage, als in Rücksicht auf ihre Stellung in der Erde selbst, und es ist eine merkwürdige Thatsache, daß nichts in der Natur so unveränderlich ist, als die Achse eines in schnelle Drehbewegung versetzten Körpers. Ein bekanntes Beispiel hierfür bietet uns die Bewegung eines Kreisels, welche in der That zur Verdeutlichung einer der größten und wichtigsten Naturerscheinungen der Erde vorzüglich geeignet ist. Beobachtungen des Polarsterns beweisen nun, daß die Erdachse beim Umlauf der Erde um die Sonne beständig nach demselben Puncte am Himmel gerichtet ist, also eine stets parallele Lage zu sich selber hat. Weil aber die Sonne ihre Entfernung vom Aequator stets ändert, so kann die Rotationsachse der Erde mit der Achse ihrer Bahnebene, oder, was dasselbe ist, die Aequatorebene mit der Bahnebene nicht zusammenfallen, sondern sie muß sich um soviel gegen die Bahnebene neigen, als die größte nördliche und südliche Abweichung der Sonne vom Aequator beträgt, also um einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ (genauer $23^0\ 28'$). Auch hierin stimmt die Erde mit den übrigen Planeten überein, denn bei keinem derselben stehen die Umdrehungsachsen, soweit sie bis jetzt bekannt sind, senkrecht auf der Bahnebene, sondern sind mehr oder

weniger gegen die Achse derselben geneigt, am wenigsten bei Jupiter, mehr als bei der Erde bei Mars, Saturn und Uranus.

Der Winkel von 23° 28′, um welchen der Aequator gegen die Erdbahn geneigt ist, heißt die Schiefe der Ekliptik; von ihr ist der stetige jährliche Wechsel der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne abhängig, auf denen wieder die verschiedene Wirkung der Sonnenstrahlen bezüglich der Wärme beruht.

Alle die Erscheinungen, die wir unter der Voraussetzung betrachtet haben, daß die Sonne in der Ebene der Ekliptik jährlich ihren Kreislauf um die im Mittelpuncte dieses Kreises ruhende Erde vollende, werden sich genau ebenso unserem Auge unter der entgegengesetzten Voraussetzung darstellen, daß die Erde in demselben Kreise, den wir zuvor der Sonne angewiesen haben, sich jährlich um die im Mittelpuncte dieses Kreises ruhende Sonne bewege.

Da während eines Umlaufs der Erde die Drehungsachse sich selbst parallel bleibt, so muß der Winkel, den die Nordhälfte der Achse mit der Strahlenrichtung der Sonne macht, abwechselnd ein spitzer, ein rechter und ein stumpfer sein, und die Sonne steht demgemäß nordpolwärts, über dem Aequator und südpolwärts, d. i. sie beschreibt scheinbar einen größten Kreis zwischen den beiden Wendekreisen. Daraus ergeben sich die oben (37) bezeichneten vier Hauptstellungen der Erde zur Sonne, welche dem Beginn der astronomischen Jahreszeiten entsprechen. In Fig. 5, Taf. VIII, sind E, E′, E″ und E‴ die hauptsächlich in Betracht kommenden Stellungen, welche die Erde im Laufe eines Jahres zur Sonne einnimmt. In allen diesen Stellungen ist die Erdachse zu sich selbst parallel und $23^1/_2{}^0$ zur Erdbahn geneigt. Man sieht sogleich, daß in denselben die beiden Hälften, die Tag- und Nachthälfte, in Beziehung auf die feste Erdachse sehr verschieden vertheilt sind, und daß die Lichtgrenze zweimal, in E und E″, gerade durch die beiden Pole, sonst aber in beträchtlicher Entfernung links und rechts vorbeigeht. Die Ebene dieser Lichtgrenze ist nämlich stets senkrecht auf allen Linien, welche Sonnen- und Erdmittelpunct mit einander verbinden, während die Erdachse mit diesen Linien bei E′ einen spitzen, bei E‴ einen stumpfen und nur bei E und E″ einen rechten Winkel bildet. In den beiden ersteren Stellungen steht die Sonne senkrecht über dem nördlichen und südlichen Wendekreis, in den beiden letzteren senkrecht über dem Aequator. Bei E′ ist dieser Winkel am kleinsten und beträgt $66^1/_2{}^0$, dann nimmt er allmälig zu bis E‴, wo er $113^1/_2{}^0$ ist, um dann wieder bei E = 90° zu werden und in E′ aufs

Neue seinen kleinsten Werth zu erhalten. Mithin ist bei E′ der Nordpol N am weitesten in die Tageshälfte, der Südpol am weitesten in die Nachthälfte hineingeneigt. Obschon sich also die Erde um ihre Achse dreht, behält doch der Nordpol mit seinem Polarkreis fortwährend Tag. Für die übrigen Bewohner der Nordhälfte wird die Länge des Tages um so größer sein, je näher sie dem Polarkreis sind, weil bei der Umdrehung der Erde ein immer kleineres Stück des Rotationskreises in die Nachthälfte hineinreicht. Die nahe an dem Polarkreise Wohnenden sehen die Sonne nur einen Augenblick unter den Horizont tauchen und sogleich wieder aufgehen. Kurz die Erde befindet sich in dem Puncte des längsten Tages, des Sommeranfangs für die Nordhälfte, und des kürzesten Tages und Winteranfangs für die Südhälfte, d. h. es ist der 21. Juni, an welchem die Sonne scheinbar den nördlichen Wendekreis des Krebses berührt, oder an welchem dieser senkrecht unter der Sonne sich befindet. Das Gegentheil findet natürlich am 21. December statt, wo die Erde in dem Puncte E‴ ihrer Bahn ist und die Sonne den südlichen Wendekreis zu berühren scheint. Zugleich hat in diesen beiden Stellungen die Sonne um Mittag ihren höchsten, beziehungsweise niedrigsten Stand für die Gegenden zwischen dem Pol und dem Wendekreis der nördlichen Hälfte, und das Umgekehrte gilt für die südliche. In den Zwischenstellungen E und E″ dagegen, wo die Linien von der Sonne nach der Erde ebenso senkrecht stehen, als auf der Ebene der Lichtgrenze, wo also die Sonne den Aequator zu kreuzen scheint, muß die Lichtgrenze durch die beiden Pole gehen, mithin alle Rotationskreise (Parallelen) in zwei gleiche Hälften theilen, so daß jeder Punct in denselben gleich lang in der Tag- wie in der Nachthälfte läuft; es sind die Nachtgleichenpuncte, in denen Tag und Nacht für die ganze Erde je 12 Stunden dauern, oder auf der Erde ist Frühlingsanfang am 21. März und Herbstanfang am 23. September.

Man sieht also, daß die jährliche Veränderung des Standes der Sonne gegen den Aequator, und Alles, was davon abhängt, sich durch die Annahme des Jahresumlaufes der Erde um die Sonne vollkommen genügend erklärt. Dasselbe gilt von den Himmelszeichen, in welche die Sonne in den verschiedenen Monaten des Jahres einzutreten scheint. Bei E‴, am 21. December, sehen wir von der Erde aus die Sonne im Zeichen ♑, von dem eine gerade Linie durch den Sonnenmittelpunct zum Wendekreis des Steinbockes geht, ist sie von E‴ auf ihrer Bahn nach Osten am 20. Januar in die Stellung I gerückt, so wird von ihr aus die Sonne im Zeichen ♒, am

18. Februar bei II im Zeichen ♓, am 21. März bei III im Zeichen ♈, am 20. April bei IV im Zeichen ♉ u. s. w. gesehen, wie wir es oben gefunden haben.

Der Umfang der Erdbahn beträgt in runder Zahl 131 Millionen Meilen. Dividiren wir mit der Anzahl der Tage eines Jahres = 365,25, der Stunden eines Tages = 24, der Minuten einer Stunde = 60, und der Secunden einer Minute = 60, in jene Länge, so zeigt sich, daß die Erde

1) in jedem Tag	365,25	:	131000000	=	358658
2) in jeder Stunde	24	:	358658	=	14944
3) in jeder Minute	60	:	14944	=	249,06
4) in jeder Secunde	60	:	249,06	=	4,15

geographische Meilen auf ihrer Bahn zurücklegt. Diese Geschwindigkeit ist ungemein viel größer, als alle Bewegungen, die wir auf der Erde zu beobachten Gelegenheit haben. Setzt man die Anfangsgeschwindigkeit einer Kanonenkugel zu 1500 par. Fuß, so findet sich, daß diese noch ungefähr 63 mal geringer ist, als die der Erde auf ihrer Bahn. Die Achsengeschwindigkeit eines Punctes im Erdäquator verhält sich zur Bahngeschwindigkeit der Erde, wie 1 : 66,38, und während ein Punct auf dem Aequator in einer Secunde 1428 par. Fuß zurücklegt, durchfliegt die Erde auf ihrer Bahn in derselben Zeit 94794 par. Fuß. Diese Geschwindigkeit wird nur von derjenigen der beiden unteren Planeten, der meisten Cometen in ihrem Perihel, vom Licht und der Elektricität übertroffen. Wenn die Erde wie eine Kugel auf ihrer Bahn fortrollte, so würde sie in der jedesmaligen Zeit ihres Umdrehens um ihre Achse nur soweit fortrücken, als ihr Umkreis beträgt, nämlich 5400 Meilen; da sie aber täglich über 358000 Meilen fortrückt, so folgt daraus, daß beide Bewegungen von einander verschieden sind, die Erde also eine ursprünglich doppelte Bewegung hat, abgesehen von derjenigen, welche sie mit dem ganzen Sonnensystem gemein hat (10).

Klimatische Eintheilung der Erdoberfläche.

39. Die Schiefe der Ekliptik verbunden mit der unveränderlichen Lage der Drehungsachse hat zu der klimatischen Eintheilung der Erdoberfläche in sogenannte mathematische Klimate und Zonen geführt.

Die ersteren beruhen auf der Verschiedenheit der Tageslänge unter verschiedenen Parallelen. Unter dem Aequator selbst sind Tag und Nacht

das ganze Jahr hindurch von gleicher Dauer, auf den heißen Tag folgt eine gleich lange kühle Nacht. Nach den Polarkreisen zu verlängert sich der Tag. Er ist unter 16° 45′ 13 Stunden, unter 30° 48′ 14 St., unter 41° 24′ 15 St., unter 49° 16 St., unter 54° 30′ 17 St., unter 58° 27′ 18 St., unter 61° 19′ 19 St., unter 64° 51′ 21 St. und unter den Polarkreisen selbst kommt einmal im Jahr ein Tag von 24 Stunden vor, an welchem die Sonne gar nicht untergeht, und einmal im Jahr eine 24stündige Nacht; jenes unter dem nördlichen Polarkreis zur Zeit des Sommersolstitiums, dieses zur Zeit des Wintersolstitiums. Unter dem südlichen Polarkreis findet dieselbe Erscheinung in der entgegengesetzten Jahreszeit statt. Unter 67° 30′ ist die Dauer des beständigen Tages bereits einen Monat, und an der nördlichen Spitze von Europa, am Nordcap, unter 70° 10′ fängt der beständige Tag den 14. Mai an und dauert bis zum 30. Juli. Unter den Polen selbst haben Tag und Nacht eine halbjährige Dauer von einem Aequinoctium bis zum andern, von der Stellung E bis zur Stellung E′′ Fig. 5, und während mit dem Frühlingsäquinoctium der halbjährige Tag des Nordpols anbricht, beginnt am Südpol die halbjährige Nacht. Zur Zeit des Sommersolstitiums, bei E′, ist der Mittag des Nordpols, die Mitternacht des Südpols, und wenn mit dem Herbstäquinoctium die halbjährige Nacht des Nordpols anbricht, graut für den Südpol der Morgen seines halbjährigen Tages. Dem längsten und kürzesten Tag für irgend einen Punct der Erdoberfläche entspricht bekanntlich ein halbes Jahr später eine gleich lang dauernde Nacht.

Die mathematischen Klimate nun sind schmale, vom Aequator nach den Polen hin um die Erdoberfläche laufende Gürtel, welche, je nachdem der längste Tag an ihren Grenzen eine halbe Stunde oder einen Monat zugenommen hat, in halbstündige und monatliche unterschieden werden. Da nun der längste Tag vom Aequator bis zum Polarkreis von 12 bis 24 Stunden zunimmt, so gibt es in diesem Zwischenraume $12 \times 2 = 24$ halbstündige Klimate, die, wie sich aus Obigem ergibt, nach den Polarkreisen zu immer schmäler werden. Von den Polarkreisen bis zu den Polen, also von 66° 30′ bis 90°, nimmt der Tag so schnell zu, daß er von 24 Stunden bis zu 6 Monaten wächst. Die Differenz einer halben Stunde würde ein unmerkliches Klima geben, und selbst mehrere Tage würden nicht hinreichen, um ein Klima zu bezeichnen, deshalb rechnet man hier nach Monaten und zählt bis zu den Polen auf der nördlichen und südlichen Halbkugel 6 monatliche

Klimate. Wir haben also in jeder Erdhälfte 30 Klimate, 24 halbstündige und 6 monatliche. (Siehe die gegenüberstehende Tabelle.)

Der Effect der Strahlenbrechung, welche die Tageslänge, besonders gegen die Pole, vermehrt, ist in dieser Tafel unberücksichtigt geblieben. Unter den Polen selbst wird, ohne die Dämmerung zu rechnen, der sechsmonatliche Tag durch die Strahlenbrechung um 67 Stunden länger. So ging dem Holländer Barenz 1596 die Sonne auf Nova Semlja unter 76° N. B. schon am 24. Januar auf, da dieselbe nach Maßgabe der Breite erst am 11. Februar hätte erscheinen sollen. Die eigentliche Polnacht dauert unter dem Nordpol nur vom 12. November bis zum 29. Januar, statt vom 23. Sept. bis zum 21. März, am Südpol vom 12. Mai bis 1. August, statt vom 21. März bis 23. September, also etwa $2^1/_2$ Monate, weil die Abend- und Morgendämmerung 2×54 Tage $= 3^1/_2$ Monate beträgt.

Es ist leicht zu berechnen, welchem Klima ein Ort angehört, wenn man die Dauer seines längsten Tages kennt. Man zieht nämlich von den Tagesstunden die Tagesdauer unter dem Aequator, also 12 Stunden, ab, und verwandelt den Rest in halbe Stunden, deren Zahl dann die Nummer des Klima's vom Aequator an gerechnet anzeigt. Bleiben Minuten übrig, so liegt der Ort zwischen dem erhaltenen und dem folgenden Klima. Man sieht übrigens leicht, daß nach dieser Zoneneintheilung sich die Lage eines Ortes auf der Erde nur sehr allgemein, und überdies nur nach der Entfernung vom Aequator, also seiner Breite, nicht aber seiner Länge nach angeben läßt.

Die Griechen und Römer glaubten mit den geographischen Klimaten den allmälig geringeren Einfluß der Sonnenstrahlen auf die nach Verhältniß vom Aequator entfernt liegenden Länder, d. i. die regelmäßige Abnahme der Wärme bezeichnen zu können, und meinten, es sei in jedem Klima, wovon sie jedoch nur etwa die 7 — 8 ersten kannten, überall eine gleiche Temperatur der Luft zu erwarten. Allein es ist bekannt, daß die klimatische Verschiedenheit und die Abstufung der Jahreszeiten nicht allein von den Stellungen der Erde zur Sonne abhängt, weil die Temperatur, außer durch die Verhältnisse der Tages- und Nachtlänge und den Auffallswinkel der Lichtstrahlen, noch durch mannigfache besondere Eigenthümlichkeiten der Länder, durch ihre Höhe über der Meeresfläche, ihre Meeresnähe, durch ihre Waldungen, durch die Beschaffenheit und den Culturzustand des Bodens u. s. w. bedingt wird; namentlich üben die Windrichtungen einen wichtigen

Tafel der Klimate.

Klimate	Längster Tag	Nördliche Grenze	Ort	Breite der Klimate
0	12 Stund.	0° 00′	Aequator	—
1	12,5 „	8 34	Sierra Leone — Cayenne	8° 34′
2	13 „	16 44	Inseln des grünen Caps	8 10
3	13,5 „	24 12	Indusmündung — Syene	7 28
4	14 „	30 48	Nildelta — New-Orleans	6 36
5	14,5 „	36 31	Malta — Algier — Richmond	5 43
6	15 „	41 24	Rom — Corsica — Boston	4 53
7	15,5 „	45 32	Mailand - Venedig - Montreal	4 8
8	16 „	49 2	Regensburg — Paris	3 30
9	16,5 „	52 40	Magdeburg — Biala	2 58
10	17 „	54 32	Rügen — Insel Langera	2 32
11	17,5 „	56 38	Riga — Randers — Fort York	2 6
12	18 „	58 27	Nordspitze von Schottland	1 49
13	18,5 „	60 00	Petersburg - Abo - Ins. Gore	1 33
14	19 „	61 19	Südl. Faröer — Cap Resolut.	1 19
15	19,5 „	62 26	Dovrefjeld-Jakutzk-C. Charles	1 7
16	20 „	63 23	Drontheim — Pembroke	0 57
17	20,5 „	64 11	Beresow — Musketo-Cove	0 48
18	21 „	64 50	Archangel — Goodhaab	0 39
19	21,5 „	65 28	Mitte des weißen Meeres	0 32
20	22 „	65 54	Luleå — Grönland	0 26
21	22,5 „	66 14	Lappland — Baffinsland	0 20
22	23 „	66 27	Cap Woronin	0 13
23	23,5 „	66 35	Lappland — Grönland	0 8
24	24 „	66 38	Polarkreis	0 3
1	1 Monat	67° 30′	Südl. Lofodden. — Torneå	0° 52′
2	2 „	69 30	Nördl. Lofodden	2 00
3	3 „	73 22	Nova Semlja	3 52
4	4 „	78 11	Mitte von Spitzbergen	4 49
5	5 „	83 50	Eismeer nördl. v. Spitzbergen	5 39
6	6 „	90 00	Nordpol	6 20

Einfluß auf die klimatischen Verhältnisse aus. Denn ob sie als trockne Winde vom Festlande, oder vom Meere herkommen, für dessen Wasserdünste sie Führer und Träger sind, dies wird die Feuchtigkeit, die Reinheit der Atmosphäre, den Grad habitueller Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels bestimmen, wovon wiederum die Temperaturverhältnisse betroffen werden. Die mathematischen Klimate haben daher keinen anderen Werth, als eine Uebersicht der Lichtvertheilung auf der Erde zu geben, und weil hier nur von den astronomischen Eigenschaften der Erde die Rede ist, und es genügt, den Hauptzusammenhang zwischen ihrer Weltstellung und ihrer Naturbeschaffenheit zur Anschauung zu bringen, so muß die Erörterung über die physischen Bestimmungen der klimatischen Verhältnisse der physikalischen Geographie überlassen bleiben.

Eine größere klimatische Eintheilung geben die durch die Wende- und Polarkreise begrenzten Zonen, welche parallel mit dem Aequator den Erdball umziehen und nach ihrer Lage zur Sonne als heiße zwischen den beiden Wendekreisen, als gemäßigte zwischen den Wende- und Polarkreisen, und als kalte Zonen innerhalb der Polarkreise bezeichnet werden. Gewöhnlich unterscheidet man die heiße, die beiden gemäßigten nördlich und südlich von der heißen, und die beiden kalten Zonen, also fünf, für welche Muncke, mit Zugrundelegung des Abplattungswerthes = $^1/_{289}$ folgenden Flächeninhalt findet:

Heiße Zone . .	3678246	geogr. Geviertmeilen.
Eine gemäßigte Zone	2403988	= =
Eine kalte Zone .	387139	= =

Die Eigenthümlichkeiten dieser Erdzonen können, nach Reuschle, kurz dahin ausgesprochen werden, daß die Sonne in der Polarzone zeitweise nördlicher und südlicher Circumpolarstern, in der Tropenzone aber zeitweise Zenithstern, in der gemäßigten keines von beiden ist. Bewirkt die Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik eine große Mannigfaltigkeit in der Lichtvertheilung, so ist sie nicht minder auch Ursache der verschiedenen Erwärmung auf dem Erdball. Die Sonne, als die Hauptquelle der Wärme, entwickelt ihre größte Kraft, wo die Richtung ihrer Strahlen sich am wenigsten von der senkrechten entfernt. Dies ist nur auf dem von den beiden Wendekreisen eingeschlossenen Gürtel der Fall, wo die Sonnenstrahlen abwechselnd in Winkeln von 90° bis 43° fallen. In den beiden gemäßigten Erdgürteln

fallen, je nach der verschiedenen Stellung der Erde in ihrer Bahn, die Strahlen der Sonne etwas schiefer, in Winkeln, die an den Polarkreisen = 0, unter den Wendekreisen selbst = 90° sein können. In diesen Zonen vermag sich daher weniger Wärme zu entwickeln, und die Temperatur wird gemäßigt. In dem Raum zwischen den Polarkreisen und den Polen ist die Sonne am wenigsten Wärme zu erzeugen im Stande, indem diese Zonen nur an ihren Aequatorialgrenzen von den Sonnenstrahlen unter einem Winkel von 47° berührt, in allen übrigen Puncten aber unter spitzeren Winkeln, ja zum Theil oft Monate lang gar nicht beschienen werden. Der Raum am Himmelsgewölbe, welcher bei der 24stündigen Umdrehung der Erde senkrecht über jeder der 5 Zonen sich befindet, ist der jeder Zone entsprechende Himmelsstrich, weshalb bei Bezeichnung der Lage eines Erdortes die Ausdrücke Zone und Himmelsstrich der eine für den anderen gebraucht werden.

Gehen wir nun zu einer näheren Betrachtung der Zonen über, so ist sogleich zu bemerken, daß eine erschöpfende Charakteristik derselben auf dem astronomischen Standpuncte, auf dem wir hier stehen, nicht möglich ist, weil physische Einflüsse der mannigfachsten Art ihre klimatischen Verhältnisse vielfach modificiren. Bei der Vertheilung der jährlichen und täglichen Temperaturen hat besonders das Meer eine bedeutende Rolle übernommen. Es strebt dahin, die Extreme der Festländer zu verschmelzen, während es für sich selbst zu allen Zeiten eine durchaus gleichmäßige Temperatur zu bewahren trachtet. An jedem Ort der offenen See ist daher das Klima immer dasselbe, ein einförmiges, feuchtes; der Himmel sehr oft mit Wolken überzogen und voll Regen, besonders in höheren Breiten. Dagegen ist das Klima der Festländer mit ihren mannigfaltigen Reliefformen ein sehr veränderliches, und besonders im Inneren derselben ein trockenes, mit einem meist wolkenfreien Himmel, daher in den entgegengesetzten Jahres- und Tageszeiten sich bedeutende Differenzen in der Temperatur zeigen. Das astronomische Klima, welches von der jedesmaligen Breite des betreffenden Ortes abhängt, ist also sehr modificirt durch Nähe oder Ferne des Meeres. Damit die beiden ursprünglich so ungleichen Elemente, die Wasser des Weltmeeres und die Festlande der Erde, welche sich nur in ihren gegenseitigen Ufern zu berühren scheinen, sich vereinigen können, macht die Atmosphäre die geschickte Vermittlerin, indem sie die vom Meere in sie aufgestiegenen Dünste mit Hülfe der Winde temperaturändernd und segenspendend über die Continente führt.

Die heiße oder Tropenzone, welche den größten unseren Erdball umziehenden Gürtel bildet, hat 47° Breite und wird durch den Aequator in zwei große Hälften von je 1,839123 geogr. Geviertmeilen getheilt. Sie umfaßt auf der östlichen Halbkugel den mittleren, mithin größten Theil von Afrika, die Inseln Madagaskar, die Seychellen und die Maskarenen; den ganzen südlichen Theil von Asien, nämlich das glückliche Arabien, die beiden Indien, das südliche China und den ganzen asiatischen Inselarchipel oder Notasien; die nördliche Hälfte von Neu-Holland, Neu-Guinea, die Gesellschafts- und Freundschaftsinseln, die neuen Hebriden, die Fidschi- und Fischerinseln und die zahllose Menge anderer kleinerer Inselgruppen und Eilande, welche Australien bilden; den südlichen Theil von Nordamerika nebst Westindien, und den nördlichen und mittleren Theil von Südamerika; endlich vom atlantischen, großen und indischen Ocean die ganze Wassermasse zwischen den Wendekreisen. Nirgends in diesem Erdgürtel fallen die Sonnenstrahlen schiefer als 45° und zweimal im Jahre steht die Sonne über jedem Puncte desselben im Zenith. Wenn dies der Fall ist, werfen die Menschen dort keinen Schatten, weshalb man sie Unschattige (ascii), sonst auch Zweischattige (amphiscii) nennt, weil ihnen zu jeder anderen Zeit des Jahres, nördlich vom Aequator im Sommer der Schatten südlich, im Winter aber nach Norden fällt, im Süden des Aequators aber das umgekehrte Verhältniß eintritt. Die Strahlen der Sonne entwickeln das ganze Jahr hindurch eine außerordentliche Wärme, die oft unerträglich wäre, wenn nicht mancherlei physische Ursachen sie milderten. Außer besonderen Localverhältnissen gehört dahin besonders die fast gleiche Länge der Tage und Nächte, welche bewirkt, daß die Temperatur der letzteren durch Wärmestrahlung ermäßigt und oft so herabgedrückt wird, daß die kurzen Sommernächte der gemäßigten Zone nicht selten einen fast gleichen Wärmegrad wahrnehmen lassen, daher denn auch die Ausdünstungen des Meeres in den gemilderten Tropennächten sich in reichlichem Thau niederschlagen und wesentlich zur Erquickung der tropischen Natur beitragen. Dazu kommen noch, außer den hier beständig wehenden Passatwinden, welche ebenfalls zur Milderung der Temperatur beitragen, die oft Wochen und Monate lang anhaltenden und die Luft abkühlenden Regengüsse der Regenzeit dieser Zone, welche einerseits zwischen der Frühlings- und Herbstnachtgleiche, andererseits aber umgekehrt eintritt. So lange der Passatwind mit seiner bekannten Regelmäßigkeit weht, bewahrt der Himmel eine ungestörte wolkenfreie Rein-

heit, eine tiefgefärbte Azurbläue; dies trifft gewöhnlich dann am sichersten ein, wenn, auf irgend einen Ort bezogen, die Sonne auf der entgegengesetzten Seite des Aequators steht. Die Luft ist wasserarm, trocken und läßt den Gedanken an Regen nicht aufkommen. Aber in dem Maße, wie die Sonne dem Zenith des Ortes nahe kommt, der Passat unruhig wird und Miene macht, seine Regelmäßigkeit zu verlieren, nimmt auch der Himmel eine blassere Tinte an, überzieht sich mit Nebeldunst, läßt erst einzelne, dann immer mehr Wolken entstehen und plötzlich gewaltige Regenschauer herabströmen, welche von heftigen Stürmen begleitet sind. Diese Regengüsse folgen rascher und rascher auf einander, bis sie sich zuletzt erreichen und einige Zeit ununterbrochen dauern. Dabei ist die Hitze unerträglich und bis zum Ersticken schwer zu athmen, und während sie auf den Geist des Menschen entmuthigend, auf seinen Körper erschlaffend wirkt, so ist jetzt die Vegetation so recht eigentlich in ihrem Elemente, denn sie dringt bei dieser schwülen Hitze mit unwiderstehlicher Macht frisch und kräftig wieder ins Leben. Die Sonne schreitet allmälig weiter, und indem sie ihre Strahlen auch auf andere Orte senkrecht herabfallen läßt, nimmt sie die Regenzeit ebenso mit hinüber. Der Regen hört auf, die Luft wird wieder klar, tief blau und durchsichtig, und der Passat beginnt wieder seinen ungestörten, festen Lauf. Das ist der gewöhnliche Gang der tropischen Regen in der heißen Zone. Nur einige Theile von Innerafrika erfreuen sich keiner solchen mildernden Verhältnisse, vielmehr vermehren die ausgedehnten Sandwüsten dort die Alles erschlaffende Hitze und sind dem Anbau des Landes, wie dem Fortschritte der Kultur hinderlich. — Für die Landstriche bis zu 11° 45′ auf beiden Seiten des Aequators sind die Jahreszeiten der Tropenländer folgende. Im Frühling, wenn die Sonne im Zeichen des Widders steht, haben alle jene Länder die Sonne im Zenith, und ihren ersten Sommer, welcher bis in die Mitte des Stiers und ungefähr bis zum 16. Grad dauert. Kommt die Sonne bis in die Mitte der Waage, so haben sie den zweiten Sommer, weil ihnen die Sonne wieder im Zenith steht. Hieraus folgt also allgemein, daß die beiden Sommer der heißen Zone anfangen, wenn die Sonne, den Aequator kreuzend, in den beiden Aequinoctialpuncten steht. Kommt die Sonne in den 16° des Stiers, so fallen ihre Strahlen etwas schiefer, die Hitze wird etwas milder und es tritt für die Gegenden zu beiden Seiten des Aequators der erste Herbst ein, und vom 16° des Scorpions bis zum Steinbock ihr zweiter. Gelangt die Sonne vom ersten Grade des Krebses

bis zum 16° des Löwen, so haben jene Länder den ersten Winter, sowie sie vom ersten Grade des Steinbocks bis zum 16° des Wassermanns den zweiten haben. Vom 16° des Löwen bis zum ersten der Waage haben sie den ersten, und ebenso vom 16° des Wassermanns bis zum Anfang des Widders ihren zweiten Frühling, worauf sich die vorigen astronomischen Bestimmungen wiederholen. Schwieriger als bei dem genannten Landstriche ist die Bestimmung der Jahreszeiten für alle zwischen 11° 45′ nnd 23° 30′ nördlich und südlich vom Aequator liegenden Gegenden, weil der Sommer eines jeden Parallels zu einer verschiedenen Zeit in dem Augenblicke beginnt, in welchem die Sonne durch denselben geht. Zweimal kommt sie in das Zenith dieser Gegenden zu stehen, je nach der Entfernung des Orts vom Aequator, aber nicht in den beiden Aequinoctialpuncten, wie vorher, und nur einmal im Jahre ist die Sonne am weitesten von ihnen entfernt, nämlich im Krebse, wo dann die Bewohner der Gegenden am Wendekreise des Krebses Winter, die am Wendekreise des Steinbocks Sommer haben. Die heiße Zone zeigt eine doppelte Verschiedenheit der Jahreszeiten, wie sich aus dem Vorhergehenden ergibt: in der Mitte zweimal Frühling, Sommer, Herbst und Winter, und im nördlicheren und südlicheren Theile die Jahreszeiten einfach wie bei uns, nur nicht in derselben Ordnung, wie wir sie haben. Was übrigens Winter genannt wurde, ist nichts anderes als die Regenzeit, die alles Unangenehme eines Winters mit sich bringt, das atmosphärische Wasser in gewaltigen Güssen herabströmen läßt und, obgleich wärmer als unser Sommer, doch die Hitze mildert.

In den beiden gemäßigten Zonen erhebt sich die Sonne, mit Ausnahme der Landstriche unter den Wendekreisen, niemals in ihr Zenith, weshalb sie die Sonnenstrahlen stets in schräger Richtung erhalten, die mit dem größeren Abstand nach Norden und Süden hin zunimmt. Sie haben daher das ganze Jahr hindurch im Allgemeinen eine erträgliche Wärme und Kälte. Die Breite jeder gemäßigten Zone ist 66° 30′ — 23° 30′ = 43°. Die nördliche gemäßigte Zone umfaßt ganz Europa bis an die südliche Grenze von Lappland; den nördlichen Theil von Afrika, nebst den Azoren und den canarischen Inseln; den größten Theil von Asien, nämlich das nördliche Arabien, Kleinasien, Armenien, Iran, Afghanistan, Beludschistan, Sind, Hindustan, Tübet, China, Japan, die Mongolei, die kleine Bucharei, Tartarei, Turkestan, das südliche Sibirien, Kamtschatka, die Kurilen und Aleuten; von Nordamerika den russischen Antheil, die britischen Be-

sitzungen, den südlichen Theil von Grönland, die Bermuden und einen Theil der Bahama-Inseln, die Vereinigten Staaten mit Californien, Texas und die nördlichen mexikanischen Staaten. Zur südlichen gemäßigten Zone gehören: die Südspitze von Afrika und der südliche Theil von Madagaskar; in Südamerika Chile, die La Platastaaten, Paraguay, Uruguay, Südbrasilien, Patagonien und Magelhaensland; von Australien der südliche Theil von Neu-Holland, Vandiemensland, Neu-Seeland und eine Menge kleinerer Inseln und Inselgruppen; endlich die zwischen den Wende- und Polarkreisen liegenden Theile des großen, indischen und atlantischen Oceans mit ihren vielgestaltigen Gliedern auf der Nordhälfte. Die meisten der genannten Länder der nördlichen gemäßigten Zone sind die Wohnsitze der welthistorischen Völker; denn die großen historischen Lebensmomente einer Nation knüpfen sich hauptsächlich an die Ungleichheit des Bodens und des Klimas, an jene Contraste, welche die Natur in dem Inneren der Continente, besonders in der nördlichen gemäßigten Zone, an den Tag legt. — In beiden gemäßigten Zonen nimmt natürlich die Wärme von den Wendekreisen gegen die Pole zu ab, wobei sie zugleich ungleichartig unter vier Jahreszeiten vertheilt ist; dazu kommt die Ungleichheit der Tage und Nächte, die um so größer wird, je weiter die Sonne vom Aequator abweicht und je näher ein Ort den Polen liegt. Für beide gemäßigte Zonen sind Ab- und Zunahme der Tage und Nächte im nämlichen Augenblick stets einander entgegengesetzt; denn in der nördlichen nehmen die Tage vom 23. December bis 21. Juni zu, für die südliche ab, und umgekehrt vom 21. Juni bis 23. December für die südliche zu, für die nördliche ab, so daß diese am 21. Juni ihren längsten, jene ihren kürzesten Tag, die südliche am 23. December ihren längsten und die nördliche ihren kürzesten Tag hat. — Bekanntlich sind unter den vier Jahreszeiten der gemäßigten Zonen Sommer und Winter die Zeiten der größten Wärme und Kälte, und Frühling und Herbst die Abstufung und Uebergänge zwischen ihnen. Man hat aber zwischen astronomischen und physischen Jahreszeiten zu unterscheiden. Die ersteren beginnen mit dem Eintritt der Sonne in die Solstitien und Nachtgleichenpuncte, und werden folglich nach dem Abstand der Sonne vom Zenith bestimmt. Sie können nur den größeren oder geringeren Grad der Wärme im Allgemeinen und nur für die mittleren Theile der gemäßigten Zone angeben; denn da in den nördlichen Ländern unserer gemäßigten Zone die Sommertage sehr lang sind, so verlieren sie in den kurzen Nächten die empfangene Sonnenwärme nur

zum Theil wieder, weshalb sich die Wärme nach und nach so sehr anhäuft, daß sie der mittleren Jahreswärme der heißen Zone ($22^1/_2{}^0$ R.) gleich kommt und sie oft übertrifft, während dagegen bei den langen Winternächten die Kälte einen sehr hohen Grad erreicht. Nach den astronomischen Jahreszeiten sollte das Maximum der jährlichen Wärme und Kälte in die Zeit der größten nördlichen und südlichen Abweichung der Sonne fallen; allein nach den physischen Jahreszeiten ist in unseren Gegenden die größte Hitze nicht im Juni, sondern in der zweiten Hälfte des Juli, und die größte Kälte nicht im December, sondern in der Mitte des Januar. Diese Abweichungen entsprechen ganz denjenigen der physischen Tageszeiten, in denen wir die größte tägliche Wärme nicht zur Zeit des höchsten Sonnenstandes um 12 Uhr Mittags, sondern zwischen 1 und 3 Uhr Nachmittags, und die größte Kälte nicht um 12 Uhr Mitternachts, sondern Morgens kurz vor Sonnenaufgang empfinden, bis wohin die Erde durch Ausstrahlung stetsfort Wärme verliert. Man theilt aber dessenungeachtet die Jahreszeiten nach den astronomischen Bestimmungen ein, weil eine Jahreseintheilung nach den physischen Jahreszeiten höchst unzuverlässig und sehr veränderlich wäre. — Uebrigens zeigt die südliche gemäßigte Zone eine geringere Temperatur als die nördliche. Wenn die Sonne Festland bescheint, so wird dadurch viel mehr Wärme entwickelt und frei (beobachtbar), als wenn ihre Strahlen auf große Wasserflächen fallen, welche einen Theil der Wärme bis in große Tiefen durchgehen lassen und einen anderen Theil zur Verdunstung absorbiren. Die geringere Menge Landes und die unverhältnißmäßig größere Wasserverdunstung der südlichen Hemisphäre, auf welcher das Land in Spitzen ausläuft, während sich auf der nördlichen eine zusammenhängende weit ausgedehnte Landmasse befindet, sind die physischen Ursachen dieses Wärmeunterschiedes, eine astronomische ist das längere Verweilen der Sonne in der südlichen Erdhälfte während ihres Winters (40). — Wenn in den heißen Regionen der Tropenwelt das Leben der Natur seine höchste Kraft und seinen schönsten Glanz entfaltet, wenn hier Alles mit stark in die Augen fallenden Zügen darauf hindeutet, wie die Wärme das wahrhaft belebende Princip der Natur sei; so ist allerdings in der gemäßigten Zone das physische Leben nicht mehr so kräftig und reich entwickelt wie dort, aber dennoch hat die ganze Natur hier ein viel belebteres und heitereres Aussehen als in der kalten Zone. Die Gestalten der Vegetation treten immer noch mit großer Abwechselung, Entwicklungsfülle und Bildungskraft auf, und auch das Thierreich

ist noch zahlreich und mannigfaltig vertreten, wenn schon nicht so reich an Fülle, Schönheit und Kraft des Lebens, wie in dem Tropengürtel. Aber bereits kommen in der gemäßigten Zone starke Unterbrechungen der Lebensentwicklung vor, welche an die kalte Zone erinnern; das frische Grün der Wälder und Fluren stirbt in dem mittleren und nördlichen gemäßigten Landstrich alljährlich ab, die ganze Landschaft überdeckt sich mit dem todten Schneegewande, unter welchem der Winterschlaf einkehrt. Nur die südlichen gemäßigten Landstriche, wo im Winter die Wiesen und Äcker grün bleiben und die meisten Bäume und Sträucher belaubt sind, bekunden die Nachbarschaft des Tropengürtels, weshalb sie auch die subtropische Zone genannt werden. Weil hier die Temperaturunterschiede der Jahreszeiten nicht groß sind, so ist die Ankunft des Frühlings nicht so auffallend, wie in den polnäheren Ländern der gemäßigten Zone, wo einer strengen Winterkälte eine milde Frühlingsluft folgt und die Fesseln des Lebens sprengt.

Die nördliche und südliche kalte Zone bilden eine jede, geometrisch betrachtet, einen Kugelabschnitt, dessen Flächeninhalt auf der Kugel 384924, auf dem Ellipsoid 387139 geogr. Geviertmeilen beträgt. Die nördliche Zone umfaßt, außer dem nördlichen Polarmeer, Lappland, den nördlichen Theil Rußlands, Sibiriens und Nordamerikas, Baffinsland, den größten Theil von Grönland, Spitzbergen und Nova Semlja; zur südlichen gehören, außer den unbedeutenden und durch Eismassen fast unzugänglichen Felseninselgruppen des Südpolarmeeres, nichts als die starren Eismassen des letzteren und die Küsten eines ausgedehnten Festlandes, das, nach dem Pole zu gelegen, von ewigem Eis umgeben ist. — Weil die Sonnenstrahlen in abgleitender, stark geneigter Richtung auf die Polarregionen fallen, so sind sie mehr zur Zerstreuung und Zurückstrahlung als zu einem tieferen und dauerndern Eindringen geneigt, können daher um so weniger Wärme entwickeln. An den Polen selbst ist deshalb ewiger Winter, nur selten durch einige Frühlingstage unterbrochen, und in den unweit der Polarkreise liegenden Gegenden herrscht, trotzdem daß sie die vier Jahreszeiten der gemäßigten Zone haben, freilich mit sehr kurzem Frühling und Herbst, eine beständige Kälte. Ueberziehen sich in dieser öden Natur die nach Süden gelegenen Ufergehänge mit einem falben Grün im Sommer, so treten nicht selten Seewinde ein und mit ihnen eine rauhe Eisluft, welche das ärmliche Grün gilbt; im Winter aber treten die großen Fröste ein, die das Athmen erschweren, während Seewinde dichte Nebel mit sich bringen.

Wie wir wissen, wächst in den kalten Zonen der Tag von den Polarkreisen nach den Polen zu von 24 Stunden bis zu 6 Monaten und entsprechen den längsten Tagen der nördlichen Polarzone die längsten Nächte der südlichen und umgekehrt. In den an den nördlichen Polarkreis grenzenden Gegenden geht die Sonne einen bis zwei Monate lang nicht unter, sie steht aber so niedrig, daß sie nur leuchtet, die Atmosphäre aber fast gar nicht erwärmt; obgleich sie nicht untergeht, so ist doch die gewöhnliche Tageszeit immer bemerkbar, denn wenn die niedrige, kalte Sonne an den Horizont herabsinkt, so tritt der Abend und die Nacht ein, die Natur ruht, sowie sie sich aber nach ein Paar Stunden wieder etwas hebt, so erwacht Alles wieder, was in dieser öden Natur lebt. Wenn die Sonne im Frühling den Aequator überschreitet und sich dem nördlichen Wendekreise nähert, so geht sie für die Bewohner der nördlichen Polarzone (wir kennen nur diese) nicht mehr unter, sondern umkreist sie in schraubenförmiger Windung, nach jeden 24 Stunden einen etwas höheren Kreis beschreibend, bis sie die Höhe von 23° 30′ erreicht hat, um dann in gleicher Art täglich in einen niedrigeren Kreis zurückzusinken, bis sie den Aequator wieder kreuzt und für die Polarzone untergeht. Die Bewohner derselben werfen an den Tagen, da die Sonne sie umkreist, binnen 24 Stunden ihren Schatten nach allen Himmelsgegenden: Morgens nach Westen, Mittags nach Norden, Abends nach Osten und um Mitternacht nach Süden, weshalb man sie auch Umschattige (periscii) nennt. — Eine große Wohlthat für die Länder der nördlichen Polarzone ist die lang dauernde Dämmerung und die Strahlenbrechung. Da nämlich die Atmosphäre in einer Höhe von 9 bis 10 Meilen dicht genug ist, von ihrer Beleuchtung durch die Sonnenstrahlen so viel auf die Erde zurückzuwerfen, daß ein merklicher Schimmer, die Dämmerung, entsteht, und da diese nicht ganz verschwindet, bevor die Sonne 18° unter dem Horizonte steht; so folgt, daß an den Polen die Dämmerung anfängt und endigt, wenn die Sonne 18° unter dem Horizont sich befindet, und da die Sonne 7 Wochen braucht, um sich von jenem Puncte bis zum Horizonte zu erheben oder von diesem zu jenem hinabzusinken, so bleiben von dem Winterhalbjahre nur noch 12 Wochen ohne Dämmerung übrig. Unter $66^1/_2$° wird zwar am längsten Tage die Sonne um Mitternacht nicht mehr sichtbar, aber die Zeit einer auch um Mitternacht nicht verschwindenden Dämmerung (der sogenannten hellen Nächte) dauert dort fast den ganzen Sommer hindurch, und beträgt noch unter 55° über 10 Wochen, verschwindet aber unter $48^1/_2$° ganz.

In der gemäßigten Zone dauert das Zwielicht die größte Zeit des Jahres täglich etwa 4 Stunden, und verlängert uns mithin im Allgemeinen den Genuß des Tageslichtes jährlich um etwa 1500 Stunden. Zu der langen Dämmerung der Polarnächte kommt noch die Wirkung der Strahlenbrechung. Da in Folge derselben die Sonne, wie überhaupt jeder Stern, früher auf- und später unterzugehen scheint, als wirklich der Fall ist, so wird auch dadurch der Tag verlängert. In unseren Gegenden beträgt diese Verlängerung des natürlichen Tages 40 bis 50 Stunden jährlich, in den Polarländern 67 Stunden. — In den Gegenden der Polarzone scheint während des größten Theiles vom Jahre das Leben ganz erloschen zu sein. Die furchtbare Kälte bringt die ganze Natur in einen starren Winterschlaf; es ist, als wenn hier mit dem Schwinden der Wärme auch das Leben entflohen sei. Die Vegetation ist traurig, farblos, verkümmert; endlose Flächen sind einförmig blos mit Moos und Flechten überzogen, und das Uebergewicht haben diejenigen Pflanzenformen, welche in der gesammten Vegetation die niedrigste Stufe organischer Entwickelung einnehmen (die Kryptogamen); dies und die gänzliche Abwesenheit oder doch starke Verkrüppelung aller Baumvegetation gibt dieser ganzen Erdregion den Charakter der Armuth. Besser ist das Thierreich dieser Zone vertreten; indeß fehlt auch hier die belebende Abwechselung in den Formen, auch herrscht die Welt der Meergeschöpfe stark vor, so daß auch von dieser Seite gar wenig Zeichen des Lebens und der Mannigfaltigkeit auftauchen.

So tritt uns also auch in diesen klimatischen Zuständen wieder, wie schon zu wiederholten Malen, das überwiegende Verhältniß der Erde zum Centralkörper, der Sonne, vor die Augen. Die Sonne wird durch ihre wärmespendende Kraft zum Regulativ des Lebens der Erde, besonders für die vom Aequator entfernteren Gegenden, in welchen der Wechsel der Jahreszeiten sich schärfer ausspricht. Der Verkehr zwischen Erde und Luft wird ein anderer, je nachdem die Atmosphäre erwärmt, ausgedehnt und zu elektrischen Producten angeregt, oder durch Wärmemangel zu krystallinischen Bildungen veranlaßt wird; und wie die Achsendrehung den Wechsel zwischen Tag- und Nachtleben erzeugt, wobei nach einander alle Puncte dem nahen glänzenden Fixstern, zu dessen System die Erde gehört, bald zu-, bald von ihm abgewendet werden, so werden durch den Umlauf um die Sonne, bei schiefer Achsenstellung, die Phasen des Jahres, der Wechsel der Jahreszeiten gegeben. Die Abwechselung der Tages- und Jahreszeiten, abhängig von

der Doppelbewegung und Ekliptikschiefe unsers Planeten, sind gleichsam die beiden Hauptangeln, in denen die ganze Eigenthümlichkeit der Erdennatur hängt; denn es ist in der That unverkennbar, daß die Bewohnbarkeit der Erde für uns Menschen, daß überhaupt die Natur der uns umgebenden Thier- und Pflanzenwelt in hohem Grade durch diese Bedingungen bestimmt wird. Man erhält eine richtige Vorstellung von ihrem Einfluß, wenn man untersucht, was Alles wegfallen und anders werden müßte, wenn dieselben nicht stattfänden. Nehmen wir an, die Erde habe keine Bewegung um sich selbst oder eine andere. Hätte sie keine, so würden sich, wenn der Jahresumlauf statt hätte, nach und nach zwar alle ihre Theile der Sonne zuwenden, und dadurch einen Wechsel von Tag und Nacht haben, allein jede dieser Zeiten müßte dann für jeden Punct ein volles halbes Jahr dauern. Die Folge davon ist der schroffste Unterschied der beiden Hälften an Wärme und Kälte. Während der Taghälfte des Jahres würde durch die ununterbrochene Wirkung der Sonne die Hitze, und während der Nachthälfte die Kälte auf einen Grad steigen, der das Bestehen des Erdenlebens wenigstens in seinen jetzigen Formen unmöglich machen müßte. Ginge dagegen die Erde so um die Sonne, wie der Mond um sie, welcher ihr stets dieselbe Seite zukehrt, so würde die eine Hälfte des Erdballs immer, die andere nie von der Sonne beschienen und erwärmt werden; die eine also in ewiger Nacht und unter ewigem Eise begraben liegen, und die andere unter sengender Hitze verdorren. Die Jahresbewegung würde in diesem zweiten Falle keinen erheblichen Unterschied machen, sie würde überhaupt allein noch nicht genügen, den Wechsel der Jahreszeiten und die klimatische Verschiedenheit zu erzeugen, wie wir sogleich sehen werden. Zu der täglichen Achsendrehung muß nämlich noch eine zweite Bedingung hinzukommen, um die bestehende Naturmannigfaltigkeit in Folge des Jahreszeitenwechsels zu bewirken. Wenn die Erde sich in der Art drehte, daß ihre Drehungsebene stets zusammenfiele mit der Bahnebene, in welcher die Erde um die Sonne geht, wenn also die Drehungsachse senkrecht auf dieser Ebene stände; so würden zunächst auf der ganzen Erde Tag und Nacht immer gleich sein. Schon dadurch müßte auch eine fortwährende Gleichmäßigkeit der Temperatur für jeden Erdgürtel bewirkt werden, denn die Zeit zur Abkühlung und die zur Erwärmung wären einander gleich. Da die Wärme ferner von der Richtung abhängt, in welcher die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche treffen, und um so größer ist, je senkrechter, um so geringer,

je schiefer dieselben auffallen; so müßte die Größe des Winkels, den der Sonnenstrahl mit der Erdoberfläche bildet, für jeden Erdgürtel das ganze Jahr hindurch gleich sein. Unter dem Aequator würde dieser Winkel immer ein rechter sein, für jeden anderen Punct der Erde aber würde die Sonne genau eben so viele Grade vom Zenith entfernt sein, als seine geographische Breite beträgt. Daraus folgt, daß alsdann die Jahreszeiten wegfallen müßten, während die klimatischen Verschiedenheiten der Erdgürtel in ungemeiner Schroffheit bestehen würden; unter dem Aequator wäre das ganze Jahr eine sengende Hitze, und die Temperatur würde mit jedem Grade nach den Polen zu so schnell abnehmen, daß nur noch ein kleiner Theil der jetzigen gemäßigten Zone bewohnbar bliebe, alles darüber hinaus liegende Land aber unter Schnee begraben läge. Man kann sich kaum eine Vorstellung von den möglichen Lebensformen innerhalb solcher Zustände machen; so viel ist aber klar, daß dieselben durchaus anders sein müßten, und daß also eine Haupteigenthümlichkeit unsers Planeten durch ein scheinbar höchst geringfügiges Bestimmungsstück seiner Weltstellung verursacht wird, — durch die Neigung seiner Umdrehungsachse gegen die Ebene seiner Bahn.

Man hat in dem unserer Natur am meisten anpassenden Umstande, daß die Ekliptik gerade um $23^1/_2$ und nicht um 10 bis 20 Grade mehr oder weniger gegen die Ebene des Aequators geneigt ist, die höchste Weisheit und Zweckmäßigkeit der Natur bewundert, man hat sich vorgestellt, die Natur habe bis in alle kleinsten Einzelheiten den jetzigen Erdenzustand mit der ganzen Mannigfaltigkeit seiner klimatischen Unterschiede und unzähligen Daseinsformen vorher entworfen und dann ausgeführt, und mußte, unter dieser Voraussetzung, erstaunen über die jeden Begriff übersteigende Genauigkeit der Vorherberechnung und die Einfachheit des Mittels zur Bewirkung just dieser Temperaturverhältnisse, zur Erzeugung just dieser unendlichen Mannigfaltigkeit von Pflanzen- und Thierformen. Allein diese Bewunderung schließt erstlich eine verkehrte Auffassung des ursachlichen Zusammenhanges der Dinge in sich, welche eine einfache Naturwirkung zum bewußten Zwecke umstempelt, sodann steckt dahinter der alte eitle Dünkel, den schon Copernicus verletzt hatte, und der sich nun, aus seiner Hauptposition vertrieben, hinter den Winkel der Ekliptikschiefe flüchtete, um in demselben eine ganz besondere Fürsorge für das Menschengeschlecht zu erblicken. Cotta sagt in dieser Beziehung sehr gut: „Diese Art der Auffassung kann, wie

mir scheint, nicht genug bekämpft werden, da sie die ganze Weltanschauung verdunkelt und auf den Kopf stellt, Ursache und Folge verwechselt, eine unabsehbare Reihe von Trugschlüssen oder Irrthümern nach sich zieht, den Stolz und die Eitelkeit der Menschen im höchsten Grade befördert. Warum, so müssen wir fragen, wenn der Mensch Endzweck der ganzen Weltschöpfung sein soll, sind nicht auch die anderen Planeten so zweckmäßig eingerichtet, daß sie von ihm bewohnt werden können? Warum hat der Saturn gar keinen Wechsel der Jahreszeiten? Warum hat der ohnedies für unser Bedürfniß so stiefmütterlich mit Licht und Wärme versehene Uranus abwechselnd auf einer Polarhälfte stets Tag und Sommer, auf der anderen stets Nacht und Winter? Eine naturgemäße Anschauung der Dinge kann nur zu dem Resultat führen, daß das organische Leben der Erde, und an seiner Spitze der Mensch, sich gerade so entwickelt hat, wie es ist, weil die astronomische Beschaffenheit der Erde so ist, wie sie ist. Das Organische ist *in seiner Besonderheit* stets eine Folge des Unorganischen, diese Besonderheit ist nicht sein Zweck, sie hat sich nur überall den bestehenden Verhältnissen angepaßt. Wäre die Neigung der Erdachse eine ganz andere gewesen, sie würde dennoch mit demselben Rechte eine zweckmäßige genannt werden können, für diejenige organische Lebenswelt, die sich dann, abweichend von der gegenwärtigen, entwickelt haben würde. Wollten wir die besonderen Organismen der Erde, und namentlich den Menschen, als letzten Zweck der ganzen Schöpfung betrachten, so würden wir in die eigenthümliche Lage kommen, alle anderen Himmelskörper, namentlich die Planeten und Monde unsers Sonnensystems, deren Natur näher bekannt ist, für sehr unzweckmäßig eingerichtet erklären zu müssen. Soll hier überhaupt von einem Zweck und von Mitteln zu dessen Erreichung die Rede sein, so könnte als Zweck doch höchstens ganz allgemein die Hervorbringung höchster, geistig entwickeltster Organismen bezeichnet werden, nicht aber die besondere irdische Form, der *Mensch*, welche gerade den besonderen Verhältnissen der Erde angepaßt ist, die uns natürlich und ausschließlich brauchbar und angenehm vorkommen müssen. Wir mögen immerhin vermuthen, daß auf allen Himmelskörpern sich etwas dem organischen Leben auf der Erde Entsprechendes entwickelt hat, es wird aber überall den vorhandenen physikalischen Zuständen angemessen sein, der Art, daß man diese mit demselben Recht, wie bei unserer Erde, höchst zweckmäßig nennen darf. Aber die Unterschiede dieser physikalischen Zustände sind offenbar so groß, daß man gar nicht über die besondere Natur des

organischen Lebens auf anderen Himmelskörpern zu urtheilen vermag. Es ist dies ein alle unsere Erfahrungen gänzlich überschreitendes Gebiet. Die über menschliche Begriffe erhabene Weisheit der Welteinrichtungen — wenn es erlaubt ist, so zu sagen — besteht nicht in der Verfolgung oder Anstrebung eines uns deutlichen, eines von uns erkannten Zweckes, sondern wir begreifen davon nur das vollkommene Zusammenpassen alles Vorhandenen."

Die Erde bewegt sich in einer Ellipse um die Sonne.

40. Wenn von einer Bewegung der Erde die Rede ist, so erinnere man sich, daß von der Erde als einem Ganzen gesprochen wird, also von einer Bewegung, welche der festen Masse und dem Oceane, wie der Luft, welche die Erde umgibt, gemeinschaftlich ist. Eine solche Bewegung, die keinen irdischen Gegenstand von seiner relativen Stelle unter anderen Gegenständen verrückt, keinen der natürlichen Processe stört, und nicht die Empfindungen von Stößen oder Erschütterungen zurückläßt, kann, ohne von uns bemerkt zu werden, offenbar eben so gut bestehen, als die eines großen und schweren Schiffes, welches vor dem Winde bei ruhiger See sanft dahingeht und uns nicht im Geringsten den Weg verräth, den es einschlägt.

Wir haben gesehen (13), daß der scheinbare Durchmesser der Sonne, oder der Sehwinkel, unter dem die Sonnenscheibe erscheint, in unserm Winter 32′ 34″,6, in unserem Sommer 31′ 30″,1, der Unterschied somit 1′ 4″,5 beträgt. Natürlich hat diese ungleiche Größe des scheinbaren Sonnendurchmessers ihren Grund nicht in einer periodischen Verminderung oder Vermehrung des Volumens der Sonne, sondern in einer ungleichen Entfernung derselben von der Erde während eines Umlaufes der letzteren um die erstere, woraus folgt, daß die Sonne nicht im Mittelpunct der Erdbahn steht. Weil ferner die genannten Größen alle Jahre an denselben Tagen genau die gleichen sind, so schließen wir aus dieser regelmäßig wiederkehrenden Zu- und Abnahme des scheinbaren Sonnendurchmessers, daß die Erdbahn eine in sich selbst zurücklaufende Curve sein müsse. Dies beweist auch der Stand der Gestirne gegen den Ortsmeridian und die Weltgegenden und ihre Stellung gegen den Horizont und den Beobachter; beide sind zwar zu verschiedenen Jahreszeiten verschieden, aber in den gleichnamigen Jahreszeiten stets genau dieselben, was unerklärlich wäre, wenn die Erde nicht all-

jährlich in der gleichen Bahn um die Sonne ginge. Die Bewegung der Erde ist also, gleich der der übrigen Planeten, eine Centralbewegung (12), bei welcher, wie bei jeder krummlinigen Bewegung (26), zwei Kräfte zusammenwirken, die fortwährend vorhandene Central- oder Anziehungskraft der Sonne, wodurch die Erde stets von der geraden Linie abgezogen wird, und die ursprünglich gleichförmige Tangentialkraft, welche, als Seitengeschwindigkeit wirkend, von dem ersten, mit der Entstehung der Erde (23) zusammenhängenden Anstoß herrührt, der die Erde in anderer Richtung als zur Sonne hin bewegte, und vermöge dessen sie stets in der geradlinigen Tangente ihrer Bahn fortzugehen strebt (Fig. 12, Taf. VI.). Daß in Folge der Anziehungskraft des überwiegenden Sonnenkörpers die Erde nicht fortwährend sich demselben nähert und zuletzt mit demselben zusammenstößt, beruht eben zum Theil auf der Tangentialkraft, welche, nahe senkrecht auf die Anziehungslinie gerichtet, die zusammengesetzte Bewegung der Erde veranlaßt. Leicht begreiflich ist es nun, daß der Weg, den ein Körper unter dem Einfluß dieser beiden Kräfte nimmt, abhängig sein muß von dem gegenseitigen Verhältniß derselben, von den besonderen Umständen der Geschwindigkeit, Richtung und Entfernung des Körpers vom Centralkörper. Ist die Tangentialgeschwindigkeit mit sich selbst multiplicirt gleich dem Durchmesser der Bahn multiplicirt durch die Centralgeschwindigkeit, so ist die Bewegung kreisförmig; wäre das erste Product größer als das zweite, so würde die entstehende krumme Linie eine Ellipse sein; wäre das erste genau noch einmal so groß als das zweite, so entstände eine Parabel; wäre aber das erste noch größer, so erhielte man eine Hyperbel, sämmtlich krumme Linien, die in der Geometrie unter dem Namen der Kegelschnitte bekannt sind. Die Bahn der Erde lernen wir kennen durch Beobachtung der scheinbaren jährlichen Bewegung der Sonne. Diese findet statt in einer Bahn, die in einer und derselben Ebene liegt, welche durch den Mittelpunct der Erde geht, und die Himmelskugel in einem unter dem Namen Ekliptik bekannten größten Kreise schneidet. Die Bahn selbst in dieser Ebene ist aber nicht kreisrund, sondern elliptisch, und zwar so, daß die Erde nicht im Mittelpuncte, sondern in dem einen Brennpuncte der Ellipse erscheint. Daraus folgt nun für die wahre Bewegung, daß die Bahn der Erde, wie die der übrigen Planeten und gemäß dem ersten Kepler'schen Gesetze (12), eine Ellipse ist, freilich eine Ellipse von geringer Excentricität, die große Aehnlichkeit mit einem Kreise hat. Daraus folgern die Astronomen,

daß die Richtung des anfänglichen Seitenanstoßes mit der Ekliptikebene selbst parallel, und nahe senkrecht auf der ursprünglichen Entfernung der Erde von der Sonne gewesen sein müsse. Es folgt aus Obigem ferner, daß die Sonne in einem der beiden Brennpuncte der elliptischen Erdbahn steht (12), weshalb unser Planet an einer Seite seiner Bahn in der Sonnennähe (Perihel), an der anderen, entgegengesetzten in der Sonnenferne (Aphel) ist. Ihre elliptische Bewegung hat nothwendig ein abwechselndes Annähern und Entfernen vom Mittelpunct der Kraft zur Folge, wie wir sogleich sehen werden.

Die elliptische Form der scheinbaren Sonnenbahn (welche mit der wahren Erdbahn übereinstimmt), die excentrische Lage der Erde in derselben, und die ungleiche Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne diese Bahn durchläuft, alle diese Umstände trugen dazu bei, die Berechnung ihrer Länge schwierig zu machen, ja sogar unmöglich, so lange das Gesetz ihrer wirklichen Geschwindigkeit unbekannt war. Dieses Gesetz zeigte sich aber nicht mit einemmale, wie die elliptische Form der Bahn durch eine directe Vergleichung der Winkel und Entfernungen, sondern es erforderte eine aufmerksame Erwägung der vollständigen Reihe von Beobachtungen, welche während eines ganzen Umlaufes gesammelt worden waren. Kepler hat deshalb nicht ohne sehr schwierige und mühsame Rechnungen dieses Gesetz entdeckt, das er allgemeingültig für alle Planeten aussprach. Nach diesem zweiten Kepler'schen Gesetze (12) schneidet der Radius-Vector der Laufbahn eines jeden Planeten in gleichen Zeiträumen gleiche Flächenräume von der Bahn ab, woraus mit Nothwendigkeit folgt, daß die in ungleichen Zeiten beschriebenen Flächenräume den Zeiten proportional sein müssen. Die physische Nothwendigkeit dieses Gesetzes wird aus dem Zusammenwirken der beiden Grundkräfte auf folgende Weise dargethan. Man nehme nach Fig. 6, Taf. VIII an, daß ein Weltkörper in Folge eines primitiven Anstoßes sich in der Richtung von M nach T bewegt, und in einem gewissen Zeittheilchen die Distanz AB zurücklegt. Wirkt keine zweite Kraft auf ihn und stellt sich seiner gleichmäßigen Fortbewegung kein Hinderniß entgegen, so muß er in einer gleich großen Zeit, als in welcher er von A nach B gelangt, von B nach I kommen, weil BI = AB. In B wird der Körper plötzlich von einer anziehenden Kraft ergriffen, die ihn im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung in der Richtung nach S zu ziehen sucht und ihn von seiner geradlinigen Bewegung ablenkt. Zu größerer Veranschaulichung denke man sich anfänglich diese Kraft nur stoß-

weise wirkend. In B wirkt sie so stark, daß sie den Körper in derselben Zeit, in welcher er von B nach I zu eilen sucht, zu dem senkrechten Falle Bb nöthigen würde. Folglich kann der Körper seine Bewegung weder nach I noch nach b fortsetzen, sondern er wird die Richtung der Diagonale BC des Parallelogramms BICb nehmen (26), welches aus den Richtungen und Schnelligkeiten beider auf ihn wirkenden Kräfte gebildet ist, und er gelangt also am Ende eines gleichen Zeittheilchens nach C. Zieht man IS, so muß BCS = BIS = ABS sein. Von C würde der Körper in der jetzt erlangten Richtung und Geschwindigkeit in dem nächsten gleichen Zeittheilchen nach K kommen, wenn ihn nicht in C die nach S ziehende Kraft wieder zu dem Fall Cc nöthigte. Daher nimmt der Körper jetzt die Richtung der Diagonale CD des Parallelogramms CKDc an und gelangt nach D. Von hier kommt er auf gleiche Weise am Ende des nächsten Zeittheilchens nach E; dann nach F, G, H u. s. w. Hierbei ist leicht ersichtlich, daß die Dreiecke CDS, DES, EFS, FGS u. s. w. sämmtlich an Flächeninhalt einander gleich sein müssen, weil LE mit DS, NF mit ES u. s. w. parallel ist. Folglich wird das ganze Vieleck ABCDEFGHIA durch alle aus S, als dem Zentralpuncte der anziehenden Kraft, gezogenen Vectoren in lauter gleiche Dreiecke getheilt. Und hieraus folgt, daß auf die beschriebene Weise der umlaufende Körper gezwungen sein muß, endlich genau wieder in A einzutreffen. In A sind freilich jetzt die Bedingungen seines Laufes etwas anders als im ersten Anfange. Jetzt wirken zwei Kräfte auf ihn, die das erste Mal in A noch nicht vorausgesetzt wurden. Doch ohne die nach S ziehende Kraft würde der Körper jetzt von A nach Z weiter eilen und nur durch die Kraft, welche ihn zu dem Falle Aa zu nöthigen sucht, wird er wieder in seine frühere Richtung und Geschwindigkeit AB hineingeworfen. Folglich wird die Bewegung des so ergriffenen Körpers, obgleich sie nur von einem momentanen Stoß ausging, mittelst der nach S ziehenden Kraft zu einer in sich zurücklaufenden, endlos periodischen Laufbahn, in deren einem Brennpunct S steht, dem sich der Körper bald nähert, bald sich von ihm entfernt. Je kleiner man sich nun die Zeittheilchen denkt, in welchen die Wirkungen der nach S ziehenden Kraft einander folgen, desto mehr nähert sich die Kraft einer stetig wirkenden und das verzeichnete Vieleck einer stetig gekrümmten Linie. Nimmt man aber, in Beziehung auf die Erde, die nach S, als der Sonne, ziehende Kraft als vollkommen stetig an, wie sie es in Wirklichkeit ist, so wird das Vieleck zu einer Curve, die gegen die Sonne, als den Mittelpunct der Anziehungskraft,

hohl ist, und die Theile der Bahnfläche, welche die von S gezogenen Vectoren abschneiden, wachsen der Zeit proportional, was mit dem zweiten Kepler'schen Gesetze auf's genaueste übereinstimmt.

Dies ist, wie man sieht, nur unter der Bedingung möglich, daß die durch den anfänglichen Seitenstoß in Bewegung gesetzte Erde durch die stetig wirkende Anziehungskraft der Sonne ununterbrochen gegen diese gezogen wird. Wenn aber die vom Radius-Vector beschriebenen Flächenräume der Erdbahn den auf sie verwendeten Zeiträumen proportional sind, so folgt daraus, wie die Figur zeigt, daß die Geschwindigkeiten der Erde auf verschiedenen Puncten ihrer Bahn abnehmen, wenn die Entfernungen wachsen und umgekehrt, die Geschwindigkeit der Erde also gegen das Perihel hin zunimmt, gegen das Aphel sich vermindert: eine ungleichförmige Bewegung, wie die scheinbare Sonnenbahn deutlich zeigt, die aber nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze geregelt ist. Aus demselben geht auch hervor, daß die Winkelgeschwindigkeit d. h. die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde von der Sonne aus gesehen bei ihren verschiedenen Entfernungen von derselben sich zu bewegen scheint, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist. Angenommen, die Erde sei in einem Puncte ihrer Bahn A um $^1/_5$ weiter von der Sonne entfernt als in einem Puncte P, so verhielten sich ihre Geschwindigkeiten in denselben wie $1{,}2^2 : 1^2$; also setzt man die Geschwindigkeit von P = 1, so erhält man die Geschwindigkeit von A durch folgende Proportion:

$1{,}2^2 : 1^2 = 1$: Geschwindigkeit von A

oder $\underline{1{,}44 : 1} = 1$

$0{,}694$ = Geschwindigkeit von A. Dies beträgt also etwas mehr als $^2/_3$ der Geschwindigkeit, welche die Erde nach der Voraussetzung in P hat. Daraus folgt dann aber auch: daß die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn, mit der Quadratzahl ihrer jedesmaligen Entfernung von der Sonne multiplicirt, überall ein gleiches Product, oder, als eine constante Größe, die mittlere Geschwindigkeit gibt.

Wie die Figur zeigt, ist die Curve, welche die Erde beschreibt, eine Ellipse, in deren einem Brennpunct die Sonne steht, so daß die Erde alljährlich zu dieser zurückkehrt, während bei einer parabolischen und hyperbolischen Bewegung keine Wiederkehr, sondern nur ein einmaliger Vorbeischwung bei der Sonne stattfände. Weil nun die elliptische Bewegung der Erde ein abwechselndes Annähern und Entfernen von der Sonne,

als dem Mittelpunct der Kraft, zeigt, so hat man den Einwurf erhoben, wie es komme, daß die Erde gerade im Perihel, wo die Centralkraft am stärksten wirkt, sich wieder zu entfernen beginne, desgleichen im Aphel, wo die Centralkraft am schwächsten ist, wieder zur Annäherung umlenke, statt dort auf den Centralkörper zu fallen, und hier sich dem Einfluß desselben gänzlich zu entziehen. Der Grund davon liegt in der ungleichen Geschwindigkeit, mit der sich die Erde auf ihrer Bahn bewegt. Die Krümmung einer Planetenbahn hängt nämlich, ebenso wie die Krümmung der Bahn einer Kanonenkugel, nicht allein von der Kraft ab, welche den Planeten (oder die Kanonenkugel) so zieht, daß seine Bahn sich krümmt und seine Bewegung von der Tangentialrichtung abgelenkt wird, sondern auch von der Größe der Geschwindigkeit, mit welcher sich der Planet fortbewegt. Um deshalb zu bestimmen, welches die Krümmung der Erdbahn sei, muß man nicht nur die Größe der Sonnenanziehung in irgend einem Theile derselben, sondern auch die Größe der Geschwindigkeit in Betracht ziehen, mit welcher sich die Erde in jenem Puncte bewegt. Man kann die Anziehung der Sonne, welche in der Richtung MS wirkt, Fig. 7, Taf. VIII, in zwei Kräfte zerlegen: die eine, in der Richtung OM die Bahn berührend, bewegt in derselben Richtung wie die Erde (es ist die Tangentialkraft mit ihrer Seitengeschwindigkeit), und die andere NM, senkrecht zur Bahn, hat das Bestreben, die Erdbahn gegen die Sonne zu krümmen. Dagegen erzeugt die erstere Kraft, welche in der Richtung OM thätig ist, eine davon verschiedene Wirkung; sie treibt die Erde ihrer Bahn entlang, so daß sie, statt mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortzugehen, durch die Anziehung der Sonne, welcher er sich nähert, in ihrem Laufe beschleunigt wird. So nimmt die Geschwindigkeit der Erde von l nach L immer mehr zu, und zwar in dem Grade, daß die Erde zur Zeit, da sie in L oder im Perihel anlangt, wo die Anziehung der Sonne am stärksten ist, ihre größte Geschwindigkeit erreicht. Hätte sich die Erde nicht so schnell bewegt, so würde, bei zunehmender Anziehung, ihr Weg gekrümmter gewesen sein, allein in Folge ihrer großen Geschwindigkeit ist derselbe verhältnißmäßig sehr wenig gekrümmt; die Kraft der Sonne vermag aber die Erde nicht stärker zu zügeln, und sie geht vom Perihel fort, indem sie sich immer mehr von der Sonne entfernt. Erreicht sie den Punct M′ (oder P), so können wir die Anziehung der Sonne wieder in zwei Kräfte zerlegen, die eine senkrecht zur Bahn N′M′, die andere M′O′ in der Richtung derselben; jene gibt der Bahn die Krümmung, während

diese jetzt den Lauf der Erde verzögert. Wenn nun die Erde eine gewisse Entfernung von der Sonne erreicht hat, so geht sie immer langsamer, bis ihre Geschwindigkeit verhältnißmäßig gering ist. Obschon jetzt, nach dem Gesetz vom umgekehrten Quadrat der Entfernung, die Kraft der Sonne auch abgenommen hat, so ist ihre Anziehung dennoch, in Folge der verminderten Eile der Erde, im Stande, sie zurückzubringen und zu zwingen, wieder in die frühere Bahn einzutreten, d. i. eine Ellipse zu beschreiben. Man sieht also, daß die Vermehrung der Anziehung und Geschwindigkeit im Perihel bei L, und die Verminderung derselben bei k im Aphel eine gleichmäßige Krümmung zur Folge haben, und daß Skl = SKL. Wir ersehen zugleich aus dieser Demonstration, daß für die Erde keine Möglichkeit vorhanden ist, weder bei ihrer größten Annäherung auf die Sonne zu fallen, noch bei ihrer größten Entfernung sich ihrem Einflusse zu entziehen und sie zu verlassen.

Die größte und kleinste Entfernung der Erde von der Sonne ist, wie aus Obigem hervorgeht, an den Apsiden oder Endpuncten der großen Achse der Erdbahnellipse (Apsidenlinie, 12), die mittlere in den Endpuncten der kleinen Achse; die größte ist um 360000 Meilen größer, die kleinste um ebenso viel kleiner, die Sonnenweite in runder Zahl zu 20680000 Meilen angenommen. Der Ueberschuß der größten über die kleinste Entfernung, oder die Excentricität der Erdbahn, beträgt also 700000 geogr. Meilen. Die Erde hat, nächst der Venus, die geringste Excentricität unter allen übrigen Planeten, nämlich 0,167, wenn man die mittlere Entfernung = 1 setzt. Sie ist aber bedeutend genug, um den oben angegebenen Unterschied des scheinbaren Sonnendurchmessers von 1′ 4″,5 und eine Differenz der Lichtstärke von etwa $^1/_{15}$ zu verursachen. Da nun das Perihel der Erde jetzt bald nach unserem kürzesten Tag auf den 1. Januar fällt, so folgt, daß das Sonnenlicht in unserem Winter um $^1/_{15}$ stärker ist, als in unserem Sommer, wo das Aphel am 3. Juli eintritt. Dies scheint freilich aller Erfahrung zu widersprechen, da das Sonnenlicht uns unstreitig im Sommer weit mehr Licht gibt, als im Winter. Das kommt aber daher, daß die Sonne am Wintermittag niedrig über dem Horizonte steht, und daher theils die schiefen Strahlen über einen weit größeren Theil der Erdoberfläche zerstreut, theils durch die Dünste des Horizontes verdunkelt werden, wie es auch im Sommer des Morgens und Abends bei einem so tiefen Sonnenstande geschieht. Wäre aber jener für die nördliche Erdhälfte günstige Umstand nicht vorhanden, so würden unsere Mittage im Winter um $^1/_{15}$ weniger hell sein, als sie jetzt sind, und

da auf der südlichen Hemisphäre das Aphel mit dem dortigen Winter zusammentrifft, so haben deren Bewohner in demselben in gleichen Breiten $^1/_{15}$ Sonnenlicht weniger, als wir in dem unsrigen. Daraus folgt aber freilich nicht, daß sie um eben soviel mehr Kälte haben. Denn die Wärme hängt nicht blos von der Intensität der Sonnenstrahlen, sondern von vielen anderen Bedingungen ab, wie früher (39) erwähnt wurde. — Doch hat die Excentricität einen nicht ganz unbedeutenden Einfluß auf die Länge der Jahreszeiten und dadurch ebenfalls auf das Klima der beiden Hemisphären, obgleich nur, sofern alle übrigen Bedingungen gleich sind. Denn da die Aequinoctialachse die Solstitialachse senkrecht im Mittelpunct der Sonne schneidet, so muß die Seite der Erdbahn, in welcher das Perihel liegt, also unser Herbst und Winter, einen kleineren Umfang haben, als die entgegengesetzte des Aphels in unserem Frühling und Sommer. Dazu kommt dann noch, daß die Erde auf jenem kürzeren Bahnstücke in der Nähe des Perihels eine schnellere Bewegung hat, als auf dem längeren. Denn in diesem beträgt ihre tägliche Winkelbewegung 1° 1′ 10″, im Aphel dagegen 57′ 11″, so daß also der Unterschied 4 Minuten ausmacht oder 3000 Meilen in ihrer Geschwindigkeit auf der Bahn. Ihre mittlere tägliche Geschwindigkeit ist 59′ 8″. Aus beiden Ursachen müssen also jene beiden Jahreszeiten zusammengenommen kürzer sein, als diese. Gegenwärtig hat nämlich auf unserer Hemisphäre

der Herbst	89 Tage	17 Stunden	} zusammen 178 Tage 18 Stunden
der Winter	89 „	1 „	

dagegen hat auf ihr

der Frühling	92 Tage	22 Stunden	} zusammen 186 Tage 12 Stunden
der Sommer	93 „	14 „	

Folglich sind die beiden letzteren zusammen um 7 Tage 18 Stunden länger. Doch ist dieser Unterschied kein unveränderlicher, wie wir in dem Abschnitte von den „Störungen“ sehen werden. Er beweist aber immerhin, wie der Unterschied der wahren und mittleren Sonnenzeit (28), die Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung.

Die Dauer eines ganzen Umlaufes der Erde um die Sonne ist bekanntlich das Jahr. Aber der Endpunct des Umlaufes kann verschieden gedacht werden. Legt man ihn in die Linie, welche durch die Sonne und einen bestimmten Stern der Ekliptik gezogen wird, so hat die Erde bei der Rückkehr in diesen Punct den wahren oder siderischen Umlauf vollbracht, den man das Sternjahr nennt. Da dieses sich, soweit die Erfahrung

zurückreicht, unveränderlich gleich bleibt, so beweist es die Dauerhaftigkeit des Jahreslaufes der Erde. Das Sternjahr beträgt 365 Tage 6^h 9′ 10″,7. Sucht man aber den Endpunct des Umlaufs in der Linie, welche man durch die Sonne und den Frühlingspunct zieht, so erhält man den tropischen Umlauf oder das Sonnenjahr, welches im bürgerlichen Leben gelten muß, weil alle Geschäfte desselben von den Jahreszeiten abhangen, die vom scheinbaren Eintritt der Sonne in den Frühlingspunct des Aequators bestimmt werden. Weil aber die Lage der Erdachse, wie wir unten finden werden, sich langsam verändert, und in Folge dessen die Jahreszeiten allmälig etwas früher eintreten, so daß der Frühlingspunct der Erde auf ihrem Umlaufe entgegenzukommen scheint; so muß die tropische Umlaufszeit etwas kürzer sein, als die siderische; sie beträgt auch nur 365 Tage 5^h 48′ 47″,5. Versetzt man endlich jenen Endpunct des Umlaufs in die gerade Linie, welche durch den Mittelpunct der Sonne, der Erde und einen anderen Planeten geht, so daß der außerhalb der Erdbahn umlaufende in die Opposition, der innerhalb sich bewegende in die untere Conjunction (17) zurückkehrt; so erhält man die dritte Art des Umlaufs und der Umlaufszeit, nämlich die synodische.

Beweise für den Jahreslauf der Erde.

41. Aus der Planetennatur der Erde haben wir oben (38), nach Analogie, den Schluß gezogen, daß sie sich gleich den übrigen Planeten um die Sonne bewege, wobei wir die Erdbahn an die Stelle der beobachteten und berechneten Sonnenbahn setzten; wir haben ferner gesehen, daß sie sich, wenn sie um die Sonne läuft, durch das Zusammenwirken der Gravitation und des ursprünglichen, auf die Linie zum Kraftcentrum nahe senkrecht gerichteten Seitenstoßes in einer elliptischen Bahn um die Sonne schwingen müsse, wobei die beiden ersten Kepler'schen Gesetze ihre volle Anwendung fanden. Wenn daher der Jahreslauf der Erde und nicht der Sonne als das Richtige erscheinen muß, so fehlt uns doch noch ein näher liegender Beweis, der so augenscheinlich die Bewegung der Erde um die Sonne darthäte, wie die früher entwickelten Versuche über den Fall der Körper und mit dem Foucault'schen Pendel ihre Rotation um die Achse zeigten. Auch diesmal, wie früher, wurden die Gegner des Copernicanischen Systems die Veranlassung zur Auffindung dieses Beweises. Der Haupteinwurf, den sie gegen die fortschreitende Bewegung der Erde um die Sonne erhoben, grün-

dete sich darauf, daß die Fixsterne auch in Beziehung auf die 41 Millionen Meilen lange Standlinie, welche die Weite der Erdbahn darbietet, keine meßbare Parallaxe (8) zeigen, ein Einwurf, der dem Copernicus selbst als der wichtigste erschien.

Parallaxe überhaupt ist die Veränderung der scheinbaren Lage eines Gegenstandes in Folge einer Veränderung der wahren Lage des Beobachters, so daß jene um so kleiner sein wird, je weiter der Gegenstand von uns entfernt ist. Parallaxe, im astronomischen Sinne des Wortes, ist die Differenz der scheinbaren Lagen eines Himmelskörpers, wenn derselbe vom Mittelpuncte und einem Standpuncte der Oberfläche der Erde, oder aus zwei Standpuncten der Erdbahn beobachtet wird; die erstere ist die tägliche, die letztere die jährliche Parallaxe. Es gibt nun, wie wir wissen, im Weltraume Entfernungen, die so groß sind, daß wir sie gar nicht mehr wahrnehmen können, ähnlich wie es an einem entfernten Berge nicht mehr wahrgenommen werden kann, wenn man sich wenige Schritte bewegt hat, sondern nur an den näherstehenden Bäumen oder anderen Gegenständen; um die Ortsveränderung des Berges wahrzunehmen, müßte man einen größeren Weg durchschreiten, und wäre dann, wie früher gezeigt wurde, im Stande, aus der beobachteten Parallaxe desselben seine Entfernung abzuleiten. Wie wir wissen, versteht man unter Fixsternparallaxe den Winkel, welchen die beiden geraden Linien vom Stern aus nach beiden Enden des Erdbahndurchmessers mit einander machen, so daß das Auge in der Richtung einer jeden dieser beiden Linien den Stern an einem anderen Orte im Weltraum sieht. Der Durchmesser der Erdbahn mußte als Standlinie benutzt werden, da jede Standlinie auf der Erde selbst sich als zu kurz erwiesen hat, um bei Fixsternen noch irgend einen Winkelunterschied zu erkennen. Schon für die Sonne erscheint der Halbmesser der Erde, 860 Meilen, so gering, daß die Horizontalparallaxe derselben, als ihr größter Werth, nur 8,6 Secunden beträgt, so daß mithin eine solche Kleinigkeit, wie der Erdhalbmesser im Verhältniß zu den Fixsternentfernungen ist, als schlechthin unbrauchbar erscheint. Es war deshalb zu erwarten, daß bei der fortschreitenden Bewegung der Erde ihre Ortsverschiedenheit im Weltraume im Betrag von 41 Millionen Meilen zu zwei, um ein halbes Jahr aus einanderliegenden Zeiten sich an den Fixsternen erkennen lassen müsse. Es bemühten sich daher die Astronomen seit Copernicus, die durch eine so gewaltige Veränderung des Standpunctes der Erde entstehenden Veränderungen des gestirnten Himmels zu entdecken und durch die genauesten Be-

obachtungen zu bestätigen. Der Grad der Schärfe, mit welcher solche Beobachtungen angestellt wurden, war so groß, daß, wenn die fragliche Parallaxe nur eine Secunde betrüge, dieselbe der Messung der Astronomen nicht entgehen konnte. Die ersten zuverlässigen Beobachtungen zur Bestimmung einer Fixsternparallaxe stellte der englische Astronom Bradley an, indem er mit einem unbeweglichen Fernrohr Sterne beobachtete, die seinem Zenith sehr nahe vorbeigingen. Allein dieser treffliche Beobachter fand keine Parallaxe. Da nun der Halbmesser eines Kreises sich zum Sinus von einer Secunde in runder Zahl verhält, wie 200000 : 1, so schloß er, daß wenigstens in diesem Verhältniß die Entfernung der Fixsterne von der Sonne größer sein müsse, als die Entfernung dieser von der Erde. Die letztere Entfernung übertrifft aber den Erdhalbmesser in dem Verhältniß von 24000 : 1, es konnte daher die Entfernung der Fixsterne nicht kleiner sein, als, in runder Zahl ausgesprochen, 4800 Millionen Erdhalbmesser, oder über 4 Billionen 10000 Millionen Meilen. Die unermeßliche Entfernung der Fixsterne ergibt sich auch aus einer anderen Beobachtung; wären sie nicht soweit entfernt, so würde der scheinbare Winkelabstand zwischen zwei Sternen, hoch am Himmel gesehen, weit größer sein, als wenn wir dieselben am Horizont erblicken, und die Sternbilder würden, statt dieselben Formen und Dimensionen während ihres ganzen Tagkreises zu behalten, desto größer werden, je höher sie am Himmelsgewölbe emporsteigen. Daß dies nicht der Fall ist, das rührt von der außerordentlichen Entfernung der Fixsterne her, die auch die Auffindung einer Parallaxe so lange verhindert hat.

Bradley fand, statt einer Parallaxe, ganz unerwartet zwei andere Bewegungen der Fixsterne, nämlich die Aberration und Nutation. Die erstere, die Aberration (Abirrung), ist eine scheinbare jährliche Bewegung aller Fixsterne, und gibt einen directen Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne; denn sie kann, wie sogleich gezeigt werden soll, nur aus der schon vorher von Römer gefundenen Bewegung des Lichtes verbunden mit der Bewegung der Erde erklärt werden.

Bei so feinen Beobachtungen, wie die parallaktischen sind, führt der Astronom das Bild des im Fernrohr erscheinenden Sterns an einen bestimmten Punct, gewöhnlich den Durchschnittspunct der feinen Fäden des Fadenkreuzes im Fernrohr, welche so gestellt sind, daß man sie mit dem Sterne selbst zugleich deutlich sieht. Um dann die einmal aufgefaßte Richtung des

Sterns von jeder anderen bestimmt zu unterscheiden, muß das Fernrohr mit einem genau eingetheilten Sector (33) in Verbindung stehen, welcher dieses Mittel gewährt und eine Schärfe der Beobachtung gestattet, die der Kraft des Fernrohrs nicht nachsteht. Damit dann aber die durch das Zusammenwirken beider Beobachtungsmittel gesicherte Richtung nach dem Stern durch die Strahlenbrechung keine Störung erleide, beschränkte Bradley seine Beobachtungen auf die Nähe seines Scheitelpunctes.

Wenige Tage früher, als Bradley, begann der Irländer Molyneux zu Kew am 3. December 1725 seine Beobachtungen des Sterns γ im Kopf des Drachen, in der Hoffnung eine Parallaxe zu finden, und wiederholte seine Beobachtungen den 5., 11. und 12. desselben Monats. Da er aber keinen erheblichen Unterschied bemerkte, und der Stern sich überdies in einer solchen Stellung zur Erdbahn befand, daß die Wahrnehmung einer Parallaxe nicht wahrscheinlich war, so stand er einstweilen von weiteren Beobachtungen ab. Aber Bradley, der sich damals zu Kew befand, ließ sich in der Verfolgung der nämlichen Untersuchung nicht irre machen, beobachtete vielmehr denselben Stern am 17. December mit der größten Aufmerksamkeit und fand, daß er etwas weiter südlich durch den Meridian ging. Am 20. December zeigte es sich, daß der Stern noch weiter gegen Süden gegangen war, und diese Bewegung nahm in den folgenden Tagen mehr und mehr zu, ohne daß Bradley die Wahrnehmung hätte auf Beobachtungsfehler schieben können; auch fand sich die Zunahme viel zu regelmäßig, als daß eine solche Voraussetzung zulässig gewesen wäre. Der Stern setzte indeß seine Bewegung in der nämlichen Richtung regelmäßig fort; zu Anfang des Monats März 1726, also etwa ein Vierteljahr nach der ersten Beobachtung, befand er sich 20″ südlicher. Jetzt erst hörte seine südliche Bewegung auf und er schien einige Zeit stationär. Gegen die Mitte des April fing er aber an, wieder gegen Norden zu gehen, und zu Anfang des Juni, ein Halbjahr nach der ersten Beobachtung, zeigte er den nämlichen Zenithabstand wie zu Anfang December 1725. Alsdann nahm seine Abweichung schon wieder dauernd in drei Tagen um 1″ zu, woraus man natürlich folgern mußte, daß die Bewegung nach Norden fortdauern werde, was sich auch bewährte, indem der Stern zu Anfang Septembers 20″ nördlicher als im Juni, und 40″ nördlicher als im März war. Dann kehrte der Stern wieder nach Süden zurück und erreichte im December 1726 die nämliche Zenithentfernung wie vor einem Jahr. Er hatte sich also

während dieses Zeitraums erst um 20″ südlich und dann um 20″ nördlich entfernt. Eine Ortsveränderung, wie man eine solche unter Voraussetzung der Parallaxe suchte, war also an diesem Stern nachgewiesen, und zwar eine viel beträchtlichere, als man erwartet hatte; allein ihr Gesetz war von dem, was die Parallaxe hätte zeigen müssen, ganz verschieden, indem der Stern, wenn er ihr zufolge am meisten südlich hätte stehen sollen, an seinem mittleren Orte, und wenn er diesen hätte einnehmen sollen, am meisten südlich war u. s. w., so daß eine nach der Voraussetzung einer Parallaxe erwartete Erscheinung immer ein Vierteljahr später eintraf. Die erste Idee, welche sich Bradley zur Beantwortung dieser Frage darbot war die Annahme eines durch die Anziehung von Sonne und Mond auf den abgeplatteten Erdkörper verursachten Schwankens, einer „Nutation“ der Erdachse. Allein das Resultat der gleichzeitigen Beobachtung eines anderen Sterns that bald den Ungrund dieser Voraussetzung dar; denn dieser, ebenso weit als γ im Drachen vom Nordpol des Himmels entfernte, letzterem Sterne aber in gerader Aufsteigung entgegengesetzte Stern hätte darnach eine gleich große Veränderung in Abweichung zeigen müssen, zeigte aber nur etwa die Hälfte.

Bradley fand den Vorgang an zwölf beobachteten Sternen in der Hauptsache gleich, und da derselbe weder durch die Annahme einer Nutation der Erdachse, noch durch das Gesetz der Parallaxe und der Strahlenbrechung erklärt werden konnte, so mußte Bradley eine besondere, alljährlich in der nämlichen Regelmäßigkeit wiederkehrende und auf alle Sterne, die schwächsten wie die glänzendsten, gleichmäßig einwirkende Ursache zu ermitteln suchen. — Für die Sterne in die Ekliptik war die Abirrung in Breite = 0, weil sie für sie ganz in dieser Ebene lag, sie mußte daher die Gestalt einer geraden Linie annehmen, da der scheinbare Weg dieser Sterne nur in Länge, nicht in Breite sich zeigen kann. Wo auch das Letztere der Fall ist, da nimmt der Weg die Form der Ellipse oder des Kreises an. Bradley beobachtete nun, daß für Sterne in der Ekliptik die ganze Ortsveränderung in der Culmination 20″ (genauer 20″,5) west-, in der Opposition 20″ (20″,5) ostwärts, zusammen 40″ (genauer 41″) betrage, und da ihm einfiel, daß diese 40″ genau den Bogen der Erdbahn ausmachen, welchen die Erde in 16 Minuten Zeit durchläuft, und daß, wie Römer gefunden hatte, das Licht fast genau eben dieselbe Zeit anwendet, um einen Weg zurückzulegen, welcher dem Erdbahndurchmesser gleich ist; so gab ihm diese glückliche Combination den Schlüssel zur Erklärung der von ihm entdeckten

Bewegung der Fixsterne, weshalb er sie „Abirrung des Lichtes" nannte. Denn weil unser Standpunct, die Erde, nicht im Zustande der Ruhe, sondern in rascher Bewegung sich befindet, so können die scheinbaren Richtungen der Lichtstrahlen für einen in Bewegung befindlichen Zuschauer nicht dieselben sein, wie für einen im Zustande der Ruhe. Befindet sich also ein Stern in der Ekliptikebene im Puncte seiner Opposition mit der Sonne, wo wir uns zwischen ihm und der letzteren befinden, so sind wir dem Stern um den ganzen Durchmesser der Erdbahn näher, als in der Conjunction, und sein Licht kommt uns von dort um die entsprechenden 16 Minuten früher zu Gesicht als vom Puncte seiner Conjunction. Von hier dagegen kommt es um 16 Minuten später zu uns; während dieser Zeit aber hat sich die Erde um 40" auf ihrer Bahn fortbewegt, und es muß nun folglich der Stern als um ebenso viel, und zwar in der Richtung jener Bewegung, vorgerückt erscheinen, ganz wie es die Beobachtung wirklich zeigte. Nehmen wir an, um den Vorgang mit Anderem zu vergleichen, ein Regen falle bei gänzlicher Windstille senkrecht nieder. Einer ruhig und gerade stehenden Person würden die Regentropfen auf die Kopfbedeckung fallen; wenn sie sich aber nach irgend einer Richtung hin schnell bewegte, so würden ihr die Regentropfen, wie vom Winde getrieben, ins Gesicht schlagen. Denn während die Tropfen senkrecht fallen, bewegt sie sich mit einer Geschwindigkeit gegen sie, daß die Tropfen ihr Gesicht treffen müssen, wobei es ihr vorkommt, als wenn die Tropfen ihr entgegenkämen, während sie ihr von hinten zu kommen scheinen, wenn sie rückwärts geht. Oder es falle (nach J. Herschel) eine Kugel von einem Puncte A, Fig. 8, Taf. VIII, über einer horizontalen Linie EF, und bei F würde die Kugel von der offenen Mündung einer geneigten, hohlen Röhre BQ aufgenommen, so würde sie den unteren Theil der Röhrenwand treffen, wenn die Röhre unbeweglich gehalten würde; bewegt man aber die Röhre in der Richtung EF mit einer Geschwindigkeit fort, die in jedem Augenblick der Geschwindigkeit der Kugel vollkommen entsprechend ist, so daß sie dabei ihre Neigung gegen den Horizont behält, dergestalt, daß, wenn die Kugel durch ihren natürlichen Fall C erreicht hat, die Röhre in die Lage RS gekommen ist, so ist klar, daß die Kugel während ihres Falles sich immer in der Achse der Röhre bewegt habe, — gerade wie der von einem Stern kommende Lichtstrahl sich in der Achse des mit der Erde sich fortbewegenden Fernrohrs des Astronomen bewegt, welcher den Stern in der Richtung des Lichtstrahls erblickt und die Bewegung der Erde auf den Stern überträgt.

Wird nämlich nach Durchdringung der Strahlen durch das Objectivglas (das dem Stern zugewandte Glas des Fernrohrs) das Fadenkreuz beim Ocular (das Glas am Auge) verschoben, so entspricht der unveränderlich bleibende Convergenzpunct der Strahlen nicht mehr dem Durchschnittspunct des Fadenkreuzes, und der Stern erscheint dann verschoben. Er wird folglich an einer anderen als an der wahren Stelle erscheinen, und der Betrag dieser Verschiebung ist die „Abirrung des Lichtes." — Bradley beobachtete ferner, daß der Stern im Pole der Ekliptik, welcher 90° von der Ebene derselben entfernt ist, einen Kreis, und daß Sterne zwischen dem Pol und der Ekliptikebene Ellipsen beschreiben, in beiden Fällen Curven von 40" Durchmesser. Da im ersteren Falle der Stern senkrecht über der sich bewegenden Erde steht, deren elliptische Bahn eine geringe Excentricität hat, so scheint derselbe einen Kreis zu beschreiben, während die Sterne zwischen dem Pol und der Ekliptikebene eine elliptische Ortsveränderung wahrnehmen lassen, ähnlich wie ein kreisrunder Tisch, von der Seite gesehen, als Ellipse erscheint. Beide Fälle lassen sich auf folgende Weise veranschaulichen. Es befinde sich der Stern S', Fig. 9, senkrecht über der Kreisebene FSHW, so wird, wenn die Erde ruht und keine Parallaxe wahrgenommen wird, der aus unermeßlicher Ferne kommende Lichtstrahl des Sternes unter allen Umständen von S' nach m, in die Mitte eines ebenfalls ruhenden Fernrohrs t, fallen. Allein Bradley fand es anders; der Lichtstrahl fiel nicht nach m, sondern seitwärts des Fadenkreuzes hinter m nach a, und er sah also den Stern nicht in der Richtung mS', sondern as. Dies erklärt sich nun auf keine andere Weise als dadurch, daß sich das Fernrohr in der Richtung des Pfeils fortbewegt, und zwar so, daß es in derselben Zeit, welche der Lichtstrahl gebraucht, um das Fernrohr zu durchlaufen, um am fortschreitet. Es wird daher nothwendig der Lichtstrahl nicht nach m, sondern nach a gelangen, und in den Quadraturen, in Opposition und Conjunction, oder zu allen Jahreszeiten FSHW hinter der Mitte des Fernrohres auftreffen. Weil nun der Stern immer in der Richtung gesehen wird, in welcher sein Lichtstrahl unser Auge trifft, so wird derselbe für den mit der Erde auf ihrer Bahn fortschreitenden Beobachter, der von dieser Bewegung nichts fühlt, einen Kreis zu beschreiben scheinen in derselben Richtung, in welcher sich die Erde bewegt. Man sieht nun leicht, daß, wenn die Erde unbeweglich wäre, der Stern immer im Mittelpuncte jenes Kreises oder jener Ellipse wahrgenommen würde, die er zu beschreiben scheint.

Bradley's Aberration von 20″,5 ist gerade so groß, als sie sein muß, wenn man die Geschwindigkeit des Lichtes, welche nach den neuesten Untersuchungen 41518 geogr. Meilen in der Zeitsecunde beträgt, mit der bekannten Geschwindigkeit der Erde zusammenstellt. Sie ist darum auch ein unwidersprechlicher Beweis für die Bewegung der Erde, gibt zugleich aber auch ein Mittel an die Hand, die schon von Römer gefundene Geschwindigkeit des Lichtes zu prüfen und genau zu bestimmen. Wir können uns dies folgendermaßen veranschaulichen. Wird eine Kanonenkugel durch beide Seiten eines Schiffes hindurchgeschossen, so wird die Linie, welche beide Löcher verbindet, die Richtung des Schusses genau angeben, wenn das Schiff inzwischen stillstand. Bewegt sich aber das Schiff während des Schusses, so wird jene Linie sich zusammensetzen aus den beiden Bewegungen des Schiffes und der Kugel, und die Wirkung der Verbindung beider Bewegungen wird sein, daß die Kugel von einer weiter vorwärts gelegenen Gegend gekommen zu sein scheint, als es geschienen hätte, wenn das Schiff in Ruhe gewesen wäre. Weil nun die Neigung der scheinbaren Richtung der Kugel zur wahren Richtung von dem Verhältniß der Geschwindigkeit des Schiffes zur Geschwindigkeit der Kugel abhängt; so wird die Bewegung der Kugel allein nicht mehr genau aus der Linie, welche beide Löcher mit einander verbindet, gefunden werden können, wenn man obiges Verhältniß nicht kennt. Ist aber die wahre Bewegung bereits bekannt, so kann man aus jener Abweichung das Geschwindigkeitsverhältniß der Kanonenkugel und des Schiffes berechnen. Man setze nun statt der Kanonenkugel das Licht und statt der Schiffswände Objectiv und Ocular des Fernrohrs, mit dem der Astronom beobachtet, so hat man die Aberration, welche die Geschwindigkeit des Lichtes und der Erde auf ihrer Bahn erkennen läßt. Die Erde wandelt ihre Bahn entlang, und während dies geschieht, kommt Sternenlicht auf dieselbe. Die Wirkung ist nun ebenso wie beim Schiffe; in Folge der Bewegung der Erde scheint das Licht nicht von dem wirklichen Orte des Sterns, sondern von einem anderen Orte, welcher, verglichen mit der Richtung der Erdbewegung, mehr nach vorn liegt, zu kommen. So überzeugen wir uns von der Bewegung der Erde und können die Geschwindigkeit des Lichts berechnen. Denn aus den Beobachtungen eines Sterns in verschiedenen Jahreszeiten sind wir im Stande zu schließen, um wie viel der Ort des Sterns durch die Wirkung der Lichtabirrung verrückt wird, d. h. wie viel der scheinbare Weg des Lichts gegen den wahren Weg desselben geneigt ist,

wie beim Schiff die Schußlinie, und wir haben das Mittel, die Geschwindigkeit der Erde mit der Geschwindigkeit des Lichtes zu vergleichen.

Wiederholt wurde bemerkt, daß man dem dänischen Astronomen **Olaf Römer** die Kenntniß des einen Elements der Aberration, der Geschwindigkeit des Lichts, zu verdanken hat. Es ist ganz natürlich, daß man, um den Weg zu messen, welchen das Licht in einer bestimmten Zeit zurücklegt, Entfernungen bedarf, wie sie nur der Himmelsraum darbietet. Römer beobachtete von 1671—75 die **Verfinsterungen der Jupiterstrabanten**, und die Entdeckung der Lichtgeschwindigkeit, die er dabei machte, gehört hierher, weil sie zugleich einen Beweis für die Bewegung der Erde abgibt. Von den Trabantensystemen der Planeten ist das des Jupiter mit großer Sorgfalt untersucht worden und daher am besten bekannt, sowohl wegen der auffallenden Lichtstärke seiner vier Trabanten, die eine hinreichende Größe besitzen, um sich in stark vergrößernden Fernröhren als meßbare Scheiben darzustellen, als auch besonders wegen ihrer leicht zu beobachtenden Verfinsterungen, welche sehr häufig stattfinden, und die man deshalb auch mit beträchtlichem Nutzen als Signale der terrestrischen Längenbestimmungen gebraucht (33). Wegen der weit größeren Entfernung Jupiters von der Sonne und seines größeren Volumens ist der Kegel seines Kernschattens weit länger und von viel größerem Umfange, als derjenige der Erde. Außerdem sind die Bahnen der Jupitersmonde vergleichungsweise von kleineren Dimensionen, als es bei unserem Monde der Fall ist. Aus diesen Ursachen gehen die drei inneren Trabanten bei jedem Umlaufe durch den Schatten Jupiters und werden jedesmal gänzlich verfinstert; der Eintritt des nächsten Trabanten in den Schatten erfolgt jedesmal nach etwa $42^1/_2$ Stunden ($42^h\ 27',5$), und die Dauer seiner Verfinsterung beträgt im Mittel 2 Stunden, 8 Minuten.

Da die Erdbahn mit derjenigen des Jupiter concentrisch ist und innerhalb der letzteren liegt, so verändert sich die gegenseitige Entfernung der Planeten beständig, und zwar von der Summe des Halbmessers beider Bahnen bis zur Differenz derselben, und der Unterschied der größten und kleinsten Entfernung ist gleich dem Durchmesser der Erdbahn. Indem man nun die eigenen Bewegungen der Erde, des Jupiter und seiner Trabanten genau kannte, ließ sich mit einem großen Grade von Genauigkeit voraus bestimmen, in welchem Momente die Verfinsterung eines dieser Trabanten eintreten müsse, und wenn die genaue Beobachtung dieser Verfinsterung dann eine

Differenz gegen die Rechnung zeigte, so konnte man aus der Verspätung oder Verfrühung des Sichtbarwerdens auf die Zeit schließen, welche das Licht braucht, um vom Jupitersmonde bis zur Erde zu gelangen. Als daher Römer Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten in mehreren auf einander folgenden Jahren mit einander verglich, bemerkte er, daß die Verfinsterungen in der Nähe der Opposition des Jupiter, wo er also der Erde am nächsten ist, zu früh eintraten, d. h. früher, als er sie in Folge einer Berechnung aller dieser Beobachtungen nach einem mittleren Durchschnitt erwartete; wogegen diejenigen, welche sich um die Zeit ereigneten, wo die Erde mit Jupiter in Conjunction war, sich also am weitesten von Jupiter befand, immer zu spät eintraten. Dabei bemerkte er ferner, daß das Maximum der Verfrühung und Verspätung in die Opposition und Conjunction der Erde mit Jupiter fiel, und daß zwischen den Puncten der Opposition und Conjunction die Verfinsterungen immer später, und zwischen Conjunction und Opposition immer früher eintrafen. Indem er nun den beobachteten Fehler in den berechneten Zeiten der Verfinsterungen mit der Veränderung der Entfernung in Verbindung brachte, gelangte er zu dem Schlusse, daß, wenn die Berechnung nach einer Durchschnittsperiode mit der wirklichen Erscheinung übereinstimmen solle, eine Zeitcorrection angebracht werden müsse, welche dem Unterschied zwischen der jedesmaligen wirklichen Entfernung des Jupiter von der Erde und dem mittleren Betrage dieser Entfernung proportional und zwar so beschaffen sein müsse, daß eine Differenz von dem Betrag eines Erdbahndurchmessers einer Zeit von 16′ 36″ entspreche. Es beziehe sich Fig. 3, Taf. IX, auf die Voraussetzung, daß der Jupitertrabant aus dem Schatten trete, d. h. daß er in dem dunkeln Raume unweit des Jupiter wieder sichtbar zu werden anfange, S sei die Sonne, E und E′ die Erde in zwei Stellungen, J und J′ der Jupiter in zwei entsprechenden Stellungen und mm′ sei der aus dem Schatten tretende Mond. Wenn die Erde sich von E nach E′ bewegt, gelangt Jupiter, der sich sehr langsam bewegt, unterdeß von J nach J′. Bei E′ tritt nun der merkwürdige Umstand ein, daß die Verfinsterung mit der Vorausberechnung nicht stimmte. Die Verfinsterung, oder vielmehr der Austritt des Trabanten aus dem Jupitersschatten trifft unabänderlich später ein, als er nach der Berechnung gesollt hätte. So oft die Erde dem Theil ihrer Bahn nahe kommt, wo sie in Opposition mit Jupiter ist, geschieht die Verfinsterung des Trabanten, wie voraus berechnet war, so oft sie sich aber dem Puncte der Conjunction

nähert, treffen die Verfinsterungen später ein. Beim Nachdenken über die wahrscheinliche physische Ursache hiervon kam Römer auf den natürlichen Gedanken, daß das Licht nicht augenblicklich, sondern nach und nach fortgepflanzt werde. Auf Grund dieser Vermuthung stellte er Rechnungen an und das Ergebniß war folgendes. Der Weg, den das Licht über den Halbmesser der Erdbahn macht, erfordert 8 Minuten 18 Secunden Zeit, und mithin der Weg des Lichts über die ganze Breite der Erdbahn 16 Minuten 36 Secunden. Wandte er nun, im Verhältniß zur Entfernung, Berichtigungen für die in anderen Stellungen gemachten Beobachtungen an, so fand es sich, daß alle vollkommen gut mit einander übereinstimmten, und es blieb kein Zweifel übrig, daß das Licht von der Sonne zur Erde 8′ 18″ Zeit gebraucht. Die erforderliche Geschwindigkeit von 41500 geogr. Meilen auf die Secunde war aber so groß, daß Viele Zweifel hegten, bis Bradley's Entdeckung dieselbe bestätigte. Denn Bradley fand, daß das Licht 10000 mal geschwinder ist, als die Erde in ihrer Bahn (38), und da das Licht 8′ 18″ gebraucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, so setzt dies gleichfalls eine Geschwindigkeit voraus, welche 10000 mal größer ist, als die der Erde, so daß beide Berechnungen sich genau unterstützen. Römer's Entdeckung ist nun aber auch ein Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne. Weil nämlich die Maxima des Verspätens und Voreilens der Verfinsterungen gegen die Berechnung um den vorhin angeführten Betrag ein halbes Erdenjahr ungefähr auseinander liegen, so kann gar kein Zweifel obwalten, daß die Erscheinung von der Bewegung der Erde um die Sonne herrühre. Denn wollte man sie aus der alleinigen Bewegung Jupiters ableiten, so würden jene Maxima nicht alle Jahre, sondern erst in $5^1/_2$ Jahren auf einander folgen, da Jupiter zu einem Umlauf um die Sonne fast 12 Erdenjahre gebraucht.

Fixsternparallaxen gewähren einen leicht verständlichen directen Beweis für den Umlauf der Erde, weil sie scheinbare Ortsveränderungen der Sterne sind, welche einfach und nothwendig aus der wirklichen Veränderung des Standpunctes der Erde im Himmelsraume folgen; ohne den Jahresumlauf der Erde würden wir keine Fixsternparallaxen haben. Weil bei einer Fixsternparallaxe ein Irrthum von einem Secundenbruch von sehr großer Bedeutung ist und die Gesammtheit der Ergebnisse in Unordnung bringt, so muß der Astronom bei diesen Beobachtungen sehr sorgfältig zu Werke gehen. Denn der Ort des Sterns wird in jeder der verschiedenen

Beobachtungszeiten durch das Vorrücken der Nachtgleichen, durch das Wanken der Erdachse und die Lichtabirrung verändert. Es ist darum höchst wichtig, die Größe des Vorrückens, welche jährlich 50 Secunden, des Wankens, welche bis 9 Secunden, und der Lichtabirrung, welche nach der einen oder anderen Richtung bis 20 Secunden beträgt, mit in Rechnung zu ziehen und die Beobachtung des Sterns auf das wahre Verhältniß zurückzuführen. Sind alle diese periodischen Ursachen einer Störung entfernt, so bleibt nur noch übrig zu beobachten, ob der Ort des Sterns von der Stellung der Erde in den verschiedenen Theilen ihrer Bahn abhange, d. h. ob er eine Parallaxe zeige.

Vor ungefähr 40 bis 50 Jahren versuchten Piazzi zu Palermo und Calandrelli in Rom durch sehr genaue Beobachtungen im Scheitelpuncte die Frage über die Parallaxe der Fixsterne zu beantworten. Allein später zeigte Bessel, daß es weit sicherer sei, solche Sternenpaare, die nahe dieselbe Abweichung haben, dagegen in Rectascension um 180° von einander entfernt sind, zu wählen, weil für solche Sterne die Zeiten, wo ihre Parallaxen am kleinsten und größten sein müßten, nahe ein halbes Jahr auseinander liegen; und J. Herschel schlug vor, Doppelsterne zu beobachten, weil eine Ortsveränderung der Erde nothwendig auch eine Aenderung der scheinbaren Distanz zweier Doppelsterne zur Folge haben werde, und weil man bei dieser Bestimmungsmethode der Fixsternparallaxen nicht diejenigen Fehler zu befürchten habe, welchen alle Zenithal- und Rectascensionsbeobachtungen unterworfen sind. Erst in neuester Zeit ist man daher zu gewissen Ergebnissen gelangt. Seit 1836 suchte v. Struve die Parallaxe des Doppelsterns α Leier zu bestimmen, und fand 0,261 als jährliche Parallaxe derselben. Besonders aber hat Bessel den Stern 61 im Schwan sehr genau untersucht (8); er maß den Winkelabstand dieses Sterns von zwei kleinen Sternen zehnter Größe in seiner Nähe mittelst des sogenannten Heliometers, und bestimmte die Parallaxe des Sterns zu 0,374. Dabei waren ihm die kleinen Veränderungen der Constellation des Sterns gegen seine Nachbarn sehr behülflich, von denen vorausgesetzt werden konnte, daß sie nicht alle gerade ebenso weit entfernt wären, als er selbst, sondern näher oder weiter, der Art, daß durch hinreichende Fortbewegung der Erde sich ihr gegenseitiger Abstand etwas ändern mußte. Da aber die Bewegung der Erde eine doppelte ist, eine um die Sonne und eine mit der Sonne, so hat man nur den Theil der dadurch hervorgebrachten Aenderung zu berück-

sichtigen, welcher sich als einer Jahresperiode folgend erweist, nicht den, welcher stetig fortschreitet. — Die zu messende Verschiebung der Sternconstellation macht Cotta durch folgendes Beispiel anschaulich. „Fährt man auf einem großen Schiffe bei einer Stadt vorbei und beobachtet, während man in gleichen Perioden von einem Ende des Schiffes zum anderen geht, stets die gegenseitige Stellung der Thürme; so vertritt die Fortbewegung des Schiffes die des Sonnensystems, das eigene Auf- und Abwandeln des Beobachters die der Erde in ihrer Bahn um die Sonne. Die Verschiebung der Stadtthürme gegen einander wird dann theils eine stetige, durch die Bewegung des Schiffes bedingte sein, theils eine periodische, welche von dem Auf- und Abgehen herrührt, und bei genauer Beobachtung ist es möglich, den Einfluß beider von einander zu sondern. Besitzt die Stadt einen Doppelthurm, so kann dieser zugleich einen physischen Doppelstern vorstellen, bei welchem alle Verschiebungen langsamer erfolgen, als bei den weit hintereinander stehenden. Daß die Verschiebung der Thürme nur scheinbar sei, hervorgebracht durch die Bewegung des Schiffes und des Beobachters, leuchtet von selbst ein, und so ist es auch mit der Fixsternparallaxe.

Das sonderbare Hin- und Hergehen der Planeten gegen die Fixsterne, dessen oben (37) kurz erwähnt wurde, gibt uns endlich einen vierten Beweis für den Umlauf der Erde um die Sonne. Die scheinbare Bewegung der letzteren (37), obschon sie keine vollkommene Gleichförmigkeit zeigt, weicht doch nicht sehr beträchtlich davon ab; eine mäßige Beschleunigung und Verzögerung, welche sich aus der Ellipticität der Erdbahn erklärt, ist Alles, was man bemerkt. Ganz anders verhält es sich dagegen mit den Planeten, deren Bewegungen sehr verwickelt erscheinen. Manchmal rasch vorwärts rückend, lassen sie wieder in ihrer scheinbaren Geschwindigkeit nach und gelangen zu einem momentanen Stillstand; hierauf wird ihre Bewegung umgekehrt, und sie laufen auf ihrem früheren Wege zurück mit einer Geschwindigkeit, die anfangs immer wächst und alsdann wieder abnimmt, bis die umgekehrte Bewegung gänzlich aufhört und ein abermaliger Stillstand eintritt, worauf die Bewegung wieder entgegengesetzt wird und ihren ursprünglichen Charakter annimmt. Man nennt die dem scheinbaren Weg der Sonne nachgehende, westöstliche Bewegung WV, SR, QP, Fig. 1, Taf. IX, die directe oder rechtläufige Bewegung der Planeten, und die umgekehrte VS und RQ die retrograde oder rückläufige, zwischen welchen jedesmal ein Stillstand stattfindet, wo der Planet stationär wird. Im

Ganzen ist der Betrag der rechtläufigen Bewegung weit beträchtlicher, als daß er denjenigen der rückläufigen blos ersetzen sollte, und durch den Ueberschuß der ersteren Bewegung über die letztere wird das allmälige Fortrücken der Planeten von Westen nach Osten unterhalten. Dieses Hin- und Hergehen läßt sich z. B. an der Venus leicht beobachten. Befindet sie sich in directer Bewegung, schneller als die Sonne, so wird sie hinter diese gehen und später als Abendstern erblickt werden; sie wird auf eine gewisse Entfernung fortrücken, aber immer langsamer, und die Sonne wird sich ihr nähern; sie wird still stehen und endlich sich umdrehen und mit der Sonne zusammenzutreffen scheinen. — Nichts war vor der richtigen Erkenntniß des Planetenlaufes und ihres Verhältnisses zur Sonne schwieriger, als eine Erklärung dieser sonderbaren Bewegungen, die man jetzt als optische Täuschungen kennt; ja alle Bemühungen der früheren Systeme, dieselben mit Hülfe von Epicykeln zu erklären, scheiterten an den Planeten und erwiesen sich gerade hierdurch als irrig oder unvollkommen. Der gesunde Sinn eines Copernicus konnte daher jene verwickelte Theorie der Epicykeln nicht als eine Erklärung der Natur annehmen.

Bei aller Unregelmäßigkeit und Schwankung dieser Planetenbewegung läßt sich gleichwohl eine gewisse Gleichförmigkeit bemerken; denn die Erscheinungen des Vor- und Rückwärtsgehens und des Stillstandes kehren alle in derselben Ordnung periodisch wieder und hangen von dem Stande dieser Weltkörper gegen die Sonne und von dem Winkel ab, welchen die Gesichtslinien von unserem Auge nach der Sonne und nach den Planeten unter sich bilden. Aehnlich wie sich die Bewegung eines am Ufer Gehenden zusammensetzt aus der eigenen Bewegung des Gehenden und der des Schiffes, so sind auch die Bewegungen der Planeten aus zweien zusammengesetzt, aus ihrer eigenen und der Bewegung der Erde. Wir wollen diese scheinbare Bewegung an dem Beispiel eines unteren Planeten veranschaulichen. Es sei, Fig. 2, der kleinere Kreis die Bahn der Venus, der größere die der Erde, und in S stehe die Sonne. Beide Planeten bewegen sich in der Richtung der Pfeile, und die Kreise sind in halbe Monate getheilt, so daß die Erdbahn 24 Theile, die Venusbahn dagegen 15 hat. Am 1. Januar stehe die Erde in dem mit diesem Datum bezeichneten Puncte, Venus in 1, so erscheint sie links oder östlich von der Sonne, sie ist Abendstern (Hesperus). Die Sonne muß, wenn die Erde fortrückt, stets östlich zu rücken scheinen, Venus ebenfalls, wenn sie stille stände. Sie ist aber am 1. Februar bis zu dem

Puncte 3 vorgerückt und die Richtung von der Erde zur Venus geht zwar noch immer links oder östlich vor der Sonne vorbei, doch schon weniger als am 1. Januar. Am 15. Februar steht Venus in 4, die Richtung von der Erde zur Venus ist fast dieselbe, wie am 1. Februar, sie ist also scheinbar im Stillstand begriffen. Am 1. März ist die Richtung weiter rechts oder westlich, als am 15. Februar. Venus erscheint als rückläufig und bleibt es bis zum 15. März, wo sie etwa die Richtung, wie am 1. Januar hat. Inzwischen hat sie am 1. März in einer Richtung gestanden, welche verlängert auf die Sonne traf, und sie erscheint von jetzt an rechts von der Sonne; sie geht früher auf und unter, wird vor Sonnenaufgang gesehen und heißt Morgenstern (Lucifer). Vom 15. März bis 1. April ist wieder Stillstand, weiterhin weichen die Richtungen wieder nach links ab und Venus ist also wieder rechtläufig, was sie auch, wie man aus der Figur sieht, eine geraume Zeit hindurch bleibt. Am 1. Januar des neuen Jahres geht die Richtung zur Venus abermals durch die Sonne, wie am 1. März, aber Venus steht jetzt hinter derselben. Von jetzt wird sie wieder links (östlich) von der Sonne, oder als Abendstern gesehen werden, und dies wird ungefähr ebenso lang stattfinden, als die vorher nach rechts gewendete Richtung.

Vierte Abtheilung.

Die Störungen.

---

42. Die Elemente der Erdbahn (16) sind: die siderische Umlaufszeit, die Bahnweite oder halbe große Achse, die Excentricität und die Ekliptikschiefe, endlich die Lage der Apsiden. Hinsichtlich des Sternjahrs und der Bahnweite (der wichtigsten Elemente) ist nachgewiesen, daß beide, trotz aller äußeren Einwirkungen, keine merklichen Veränderungen erleiden können, was sich durch die Dauer des Sternjahrs, soweit die Erfahrung zurückgeht, bestätigt hat. Dagegen kennt man theils allmälige Veränderungen in Schiefe der Ekliptik, Excentricität und Apsidenlage, die wegen ihrer Langsamkeit seculäre heißen, obwohl eigentlich alle periodisch sind, theils andere in viel kleineren Zeiträumen sich ausgleichende, und im engeren Sinne periodisch genannte Veränderungen, welche für die genaue Vorausberechnung der Sonnenörter wichtig sind.

Schon früher (12), in dem geschichtlichen Ueberblicke über den Gang des astronomischen Wissens, ward solcher kleiner Anomalien oder Ungleichheiten im Lauf der Planeten erwähnt und gesagt, daß sie in der Astronomie unter dem Namen der Störungen (Perturbationen) bekannt sind. Wie wir längst wissen, besteht die allgemeine oder kosmische Schwere darin, daß jeder Weltkörper jeden anderen einerseits im Verhältniß der Massen, andererseits umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen anzieht. Dadurch

müßte ein unerforschliches Gewirr von Bewegungen, die auch schwerlich Bestand haben könnten, entstehen, wenn nicht überwiegende Hauptkräfte vorhanden wären, neben welchen die übrigen störenden Kräfte nur unbeträchtliche Wirkungen hervorzubringen vermögen, und deren Streben, große und andauernde Veränderungen hervorzubringen, durch Ausgleichung vereitelt wird, oder fehlschlägt. Wären im Weltraume nur Sonne und Erde vorhanden, so würde letztere eine Ellipse um die erstere (oder beide eine solche um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct) beschreiben und für alle Zeiten fortfahren, stets dieselbe Bahn zurückzulegen; oder wäre das Gesetz der Schwere kein allgemeines, sondern würde ein jeder secundärer Weltkörper in seinen Bewegungen einzig und allein von seinem Hauptkörper abhangen, so bliebe jede Bahn, wie sie sich einmal festgestellt hat, jeder Weltkörper würde genau denjenigen Ort der Bahn einnehmen, den ihm die nur auf den Hauptkörper bezogene Rechnung in dieser anweist, und die Kepler'schen Gesetze wären, nachdem einmal die Elemente der Bahn bestimmt wären, vollkommen genügend. Allein so ist es nicht; zur Sonne und Erde kommen andere Weltkörper, und wegen der Allseitigkeit und Gegenseitigkeit der kosmischen Schwere wirkt die Erde auf die Sonne und wird nicht nur von dieser, sondern auch von allen anderen Planeten und vom Monde, und von den Fixsternen angezogen. Daraus folgt aber in Beziehung auf die Erde vor Allem, daß ihr Umlauf um die Sonne nicht geschehen kann, wie die alleinige Anziehung der Sonne in Verbindung mit jenem Seitenstoß sie bestimmen würde, d. h. nicht genau nach den Kepler'schen Gesetzen, wie dies denn auch aus den genaueren Sonnenbeobachtungen hervorgeht. Daß aber gleichwohl die jährliche Bewegung wenigstens sehr nahe nach diesen Gesetzen vor sich geht, hat seinen Grund darin, daß die Wirkung der Sonne alle anderen überwiegt, und dies rührt wieder daher, daß einerseits die Fixsterne zu weit entfernt sind, um trotz ihrer sonnengleichen Größe merkliche Einwirkungen auf irgend einen einzelnen Körper des Sonnensystems zu haben, andererseits aber die Körper des Systems der Sonne gegenüber eine zu geringe Masse haben, um trotz ihrer Nähe mehr als kleine Nebenbewegungen oder Störungen zu veranlassen. Die Störungen selbst befolgen, wie die Hauptbewegungen, gewisse Kreisläufe, so daß eine bestimmte einzelne Störung nach Verlauf einer gewissen Periode in gleicher Art wiederkehrt, während sie im Verlauf derselben, innerhalb gewisser Grenzen, zu- und abgenommen hat. Außerdem sind diese Cyklen von außerordentlich verschie-

dener Länge; denn während einige und unter ihnen sehr beträchtliche, in wenigen Wochen, Monaten oder Jahren ablaufen, gibt es andere, welche Zehntausende und Hunderttausende von Jahren gebrauchen, und die man wegen der Langsamkeit ihres Verlaufes seculäre nennt, zum Unterschied von den ersteren, oder periodischen. Man begreift übrigens leicht, daß es in unendliche Weitläufigkeiten führen würde, wollte man neben der Wirkung des Hauptkörpers auch noch die ähnlichen aller anderen in Betracht ziehen. Man trifft daher eine Auswahl und untersucht alle diejenigen, deren Wirkung merklich werden kann, in Bezug auf diese Wirkungen, wobei die Fixsterne nicht mehr in Betracht kommen.

Ein dritter Weltkörper, der zu Sonne und Erde hinzukommt, bringt aber nicht durch den Gesammtbetrag seiner Attraction eine Störung hervor, sondern nur durch den Unterschied seiner Attractionen, die er auf Sonne und Erde äußert. „Im Vergleich mit der Sonne, sagt Sir John Herschel in seiner Astronomie, sind alle Planeten außerordentlich klein, indem die Masse des Jupiter, des allergrößten unter ihnen, noch nicht den tausendsten Theil der Sonnenmasse ausmacht. Ihre gegenseitigen Anziehungen sind demnach sämmtlich sehr schwach im Vergleich mit der vorherrschenden Macht der Sonne, und die Wirkungen ihrer störenden Kräfte sind verhältnißmäßig klein. Bei den Nebenplaneten ist die Haupttriebfeder, welche sie in ihren Bewegungen stört, die Sonne selbst, deren störender Einfluß aber, trotz ihrer großen Masse, außerordentlich vermindert wird, durch die große Nähe der Nebenplaneten bei ihrem Hauptplaneten im Vergleich zu ihrer beiderseitigen Entfernung von der Sonne, wodurch der Unterschied der Attractionen der letzteren in Bezug auf den Haupt- und den Nebenplaneten, im Verhältniß zu der Gesammtwirkung der Sonne auf beide, äußerst klein wird. In diesem Falle wirkt der bei weitem größte Theil der Sonnenattraction, nämlich derjenige, der sich auf den Haupt- und Nebenplaneten gemeinschaftlich äußert, dahin, beide in ihrer gemeinschaftlichen Bahn um die Sonne zu erhalten und ihre Trennung von einander zu verhindern. Nur der kleine, von der verhältnißmäßig sehr geringen Ungleichheit ihrer Entfernungen von der Sonne herrührende Ueberschuß der Attraction der letzteren ist es, der sich als störende Kraft äußert. Der mittlere Durchschnittswerth dieses Ueberschusses beträgt bei unserem durch die Sonne gestörten Monde, nach Newton's Berechnung, nicht mehr als $^1/_{638000}$ der Schwere an der Oberfläche unserer Erde, oder $^1/_{179}$ der Hauptkraft, welche

den Mond in seiner Bahn erhält. Diese außerordentliche Geringfügigkeit der Intensität der störenden Kräfte, im Vergleich zu denen der Hauptkräfte, und die daraus folgende Kleinheit ihrer momentanen Wirkungen, setzt uns in den Stand, eine jede von diesen Wirkungen abgesondert für sich in Betrachtung zu ziehen, gleichsam als wenn die übrigen nicht vorhanden wären, wobei wir nicht zu befürchten haben, in unseren Folgerungen einen größeren Fehler zu begehen, als diejenigen sind, die ohnehin bei einer ersten Annäherung nothwendig noch stattfinden. Solche Wirkungen, welche sich den größeren, durch die Hauptkräfte verursachten Bewegungen zugesellen, kann man füglich vergleichen mit den, durch tausend abwechselnde Lüftchen herbeigeführten Kräuselungen des Wassers bei dem allgemeinen und regelmäßigen Wogen eines tiefen, sich fortwälzenden Meeres, welche über die Oberfläche desselben hinlaufen, als ob sie eine Ebene wäre, und dieselbe nach allen Richtungen durchkreuzen, jede Kräuselung für sich, als ob die andere nicht da wäre. Nur wenn die Wirkungen solcher kleinen Kräfte im Laufe der Zeit sich anhäufen, so daß sie die anfänglichen Relationen oder Data des Systems ändern, wird es nothwendig, die ihrer momentanen Wirksamkeit entsprechenden Veränderungen besonders zu berücksichtigen, weil diese den Gang und das Maß der nachfolgenden Veränderungen afficiren, wodurch Perioden oder Kreisläufe von außerordentlicher Länge herbeigeführt werden."

Will man also die Störungen eines Systems von vielen Körpern, welches so beschaffen ist, wie unser Planetensystem, erforschen, so beschränkt sich die Aufgabe auf diejenige für ein System von nur drei Körpern, nämlich einem vorherrschenden Centralkörper, und sodann einem störenden und gestörten Körper. Die beiden letzteren vertauschen ihre Benennungen, je nachdem die Bewegung des einen oder des anderen Gegenstand der Untersuchung ist.

Aus allem Obigen ergibt sich, daß die Bewegungen um den vorherrschenden Körper beinahe eben so erfolgen, als wirkte dieser allein, und daß die Wirkungen der übrigen nur kleine Unterschiede hervorbringen. Aus diesem Grunde ist es in den meisten Fällen gestattet, die Berechnung so auszuführen, daß man zuerst den Ort, wie er durch die alleinige Wirkung des Centralkörpers sich ergeben würde, besonders bestimmt, und hiernach die Wirkungen der übrigen Körper berechnet und sie dem zuerst gefundenen Orte hinzufügt (ihn verbessert). Dieser Umstand nun stört die Bequemlichkeit und Kürze der Rechnung, was zur Benennung „Störungen" Veranlassung gegeben hat, aber er stört, wie wir gesehen, keineswegs die Einfachheit und

Allgemeinheit des Attractionsgesetzes, die vielmehr eben dadurch auf's Schönste bestätigt wird. Denn alle seculären und periodischen Ungleichheiten in den Bewegungen der einzelnen Planeten und Monde, welche wir kennen, wurden von den größten Mathematikern auf die überzeugendste Weise aus den gegenseitigen Anziehungen dieser Weltkörper hergeleitet; ja so oft sich noch bedeutende Schwierigkeiten gegen die unbedingte Annahme der Newton'schen Principien zu erheben schienen, wie dies z. B. bei der Bewegung der Apsidenlinie der Mondbahn, sowie bei der periodischen Veränderlichkeit der mittleren Fortbewegung des Jupiter und Saturn, die man anfangs für eine seculäre gehalten hatte, der Fall war, da haben die erregten Einwürfe und Zweifel nach ihrer Beseitigung der Gravitationstheorie nur zu desto größeren Siegen verholfen. Den glänzendsten Beleg für die Allgemeinheit der Gravitation, die in den Planetenstörungen sich zeigt, gewährt die Entdeckung Neptuns, der sich nur durch die Störungen, welche er bei seinem Nachbar Uranus verursacht, verrathen hat, dergestalt, daß Leverrier aus denselben, noch ehe das Fernrohr nach ihm gerichtet wurde, seine Bahn und Stellung im Raume berechnen konnte. „Die Störungen," sagt Mädler in seinen astronomischen Briefen, „sind also nichts weniger als Verwirrung und Unordnung, sie sind nicht — wie Unkundige wohl gewähnt haben — ein Nothbehelf unserer nicht recht passenden Theorieen, eine offen gelassene Hinterthüre für etwaiges Nichteintreffen; sondern sie sind vielmehr eine nothwendige Consequenz, und unterliegen gerade deshalb eben so strengen Regeln als die Hauptbewegung. Sie sind eben so wie alle Veränderungen wesentliche Momente der allgemeinen Ordnung des Weltsystems, sie werden voraus berechnet und rückwärts geschlossen, eben so wie die Bahnen selbst; sie sind endlich das Mittel, eine Menge der allerwichtigsten Beziehungen zu erforschen, die uns sonst ewig verborgen bleiben würden. Wir wüßten nichts von der Masse und Dichtigkeit der Monde und der mondlosen Hauptplaneten, wenn sie ihre Wirksamkeit nicht durch diese Störungen beurkundeten. Wir würden über eine der wichtigsten physischen Grundlagen, über die Schwere an der Oberfläche dieser Körper, in Ungewißheit bleiben; mit einem Worte, wir würden weit weniger tiefe Blicke in den inneren Haushalt des Universums thun können, wären jene Störungen nicht vorhanden, oder wären sie so gering, daß unsere Beobachtungen sie nicht errathen könnten."

Präcession und Nutation.

43. Unter die verschiedenen Veränderungen, welche durch störende Kräfte in den astronomischen Verhältnissen unsers Planeten bewirkt werden, gehört erstlich das Vorrücken der Nachtgleichen (37), oder die Präcession. Sie besteht in einem beständigen Zurückschreiten der Knoten des Erdäquators auf der Ekliptik, und hat mit dem allgemeinen Phänomen des Zurückgehens der Knoten (16) der einen Bahn auf der anderen Aehnlichkeit. Wenn wir uns nach der Ursache der Präcession umsehen, so finden wir, daß die Wirkung der Planeten auf die Erde nicht in Betracht kommen kann, theils wegen der außerordentlichen Entfernung derselben, im Vergleich zu der Größe der Erde, theils wegen der Kleinheit ihrer Massen, im Vergleich zu der der Sonne, und wir bleiben daher bei der Erklärung dieser Erscheinung auf die störenden Wirkungen der großen, obwohl entfernten Sonne, und unsers nächsten, obgleich kleinen Nachbars, des Mondes, beschränkt. Die Präcession war als thatsächliche Beobachtung schon den Alten bekannt, und zwar gebührt die Entdeckung dem Alexandriner Hipparch (150 Jahre v. Chr.), die Erklärung derselben aber verdanken wir dem Scharfsinne Newton's, welcher dieselbe in dem störenden Einflusse fand, welchen Sonne und Mond auf die am Aequator der Erde aufgehäufte Materie, durch welche sie eine ellipsoidische Gestalt erhalten hat, äußern, oder vielmehr in der Verbindung dieses Einflusses mit der Rotation der Erde um ihre Achse.

Zum richtigen Verständniß dieser Erklärung haben wir uns das Gesetz der Schwere ins Gedächtniß zurückzurufen, daß die Anziehungskraft eines Körpers um so größer ist, je mehr der angezogene Körper sich in seiner Nähe befindet, und uns zu erinnern, daß ein Körper einen anderen nicht als eine Masse anzieht, sondern als eine Ansammlung gesonderter Theilchen, indem die anziehende Kraft sich auf jedes Theilchen bezieht, daß also die Sonne die Erde nicht als ein Ganzes, sondern als eine Unzahl gesonderter Theilchen anzieht. In Fig. 4, Taf. IX, stelle ADPEPA das Erdellipsoid dar, und zwar in einer Stellung zur Sonne, in welcher der Nordpol der Erde von der Sonne ab-, der Südpol ihr zugewendet ist, also zur Zeit des Wintersolstitiums, wo die äquatoriale Anschwellung der Erde nicht genau

nach der Sonne gekehrt, sondern über die Linie zu derselben erhoben ist. Es ist nun zuvörderst klar, daß die Sonne die ihr zunächst liegenden Theile der Erde stärker anzieht, als die um den Mittelpunct, bei A ist also ihre Anziehung stärker, als bei C, weshalb die ganze Kraft, welche die Sonne auf den Theil bei A ausübt, beständig so wirkt, als ob sie ihn vom Mittelpuncte der Erde nach S wegziehen wollte. Ebenso zieht sie den Mittelpunct C stärker als den Theil bei B, sie sucht dieselben daher zu trennen, nicht dadurch, daß sie die Seite B vom Mittelpuncte, sondern dadurch, daß sie den Mittelpunct von der Seite B wegzieht. Die Gesammtwirkung der Sonnenanziehung auf die verschiedenen Theile der Erde ist daher folgende: sie sucht die nächsten Theile nach der Sonne hinzuziehen und die entferntesten von derselben wegzustoßen. Weil nun die Erde ein Ellipsoid ist mit einer ringförmigen Massenanschwellung in der Aequatorialzone, so zieht die Sonne die Anschwellung D, welche ihr am nächsten ist, stärker an als den mittleren Theil der Erde, und letzteren wiederum stärker, als die weiter abstehenden Theile. Sie sucht daher die Anschwellung D von dem Erdmittelpuncte zu sich hinzuziehen und nach a zu bringen, vorausgesetzt, daß a in dem durch S gehenden horizontalen Kreise der Erdbahn sei. Ebenso sucht sie, indem sie den Mittelpunct der Erde mehr als die Anschwellung E anzieht — oder, was dasselbe ist, E von sich abstößt — E nach b zu bringen. Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so würde die Sonnenanziehung irgend eines ihrer Theile **über** der Ekliptik ihre Bewegung nicht stören, weil eine entsprechende Einwirkung an dem entsprechenden Theile **unter** der Ekliptik stattfinden würde. Allein wegen der äquatorialen Anschwellung, die zur Zeit der Wintersonnenwende in der Richtung zur Sonne über der Ekliptik ist, wird die auf diesen Theil der Erde gerichtete Anziehung der Sonne nicht durch eine entsprechende Attraction an dem Theile unter der Ekliptik aufgewogen, weil dort keine Anschwellung vorhanden ist. Es wird daher die Sonne die Anschwellung über der Ekliptik nach der Ebene derselben herabzuziehen streben. Man könnte nun vermuthen, daß die nächste Wirkung dieser Sonnenanziehung darin bestehe, die Neigung der Rotationsachse zu verändern und dieselbe in eine mehr senkrechte Lage zur Ekliptik zu bringen. Allein dies wird verhindert durch die Erdumdrehung, welche eine ganz andere Wirkung hervorbringt. Betrachten wir, um uns dies deutlich zu machen, die Bewegung eines einzelnen Punctes, z. B. eines Berges auf der Erdanschwellung. Gesetzt der Berg, welcher durch den Punct c auf der Erde geht,

beschreibe in der halben Umdrehung eines Tages den Bogen cDe, wenn die Sonne nicht auf ihn einwirkte, und c und e seien die Puncte, in welchen dieser Bogen die Ebene der Ekliptik ab durchschneidet. Während der hervorragende Berg den Weg cDe beschreibt, ist er der Sonne beständig näher, als der Mittelpunct der Erde, und da die Umdrehung ununterbrochen vor sich geht, so sucht der Unterschied der Sonneneinwirkungen den Berg nach S hin und folglich, da er von der Erde nicht getrennt werden kann, abwärts zu ziehen, indem der Erde eine schräge Richtung mitgetheilt wird; die Attraction der Sonne wird ihn daher durch seinen ganzen Lauf von c an eine niedrigere Curve beschreiben lassen, als er sonst beschrieben haben würde, und zwar die Curve cfg statt die Curve cDe. Die nothwendige Folge davon wird sein, daß der Berg die Ekliptik ab nicht bei e, sondern durch das Herabziehen der Sonne bei g durchschneidet, d. h. er wird in Folge der Attraction durch die Sonne früher zu dem Durchschnittspuncte kommen, als es ohne jene Einwirkung der Fall gewesen wäre. Er wird bei f ein klein wenig tiefer sein, als bei D; da ihn aber die Sonne noch immer abwärts zieht, bis er nach g kommt, so wird die Steilheit seines abwärts gerichteten Weges noch mehr verstärkt, als es eigentlich seiner Höhe bei f entspricht, so daß die Neigung des Weges zur Ebene der Ekliptik dieselbe ist, wie zuerst. Wenn wir die Bewegung des Berges weiter verfolgen, so finden wir, daß er in der zweiten Hälfte seiner Umdrehung von g nach c von der Sonne entfernter ist, als der Mittelpunct der Erde, darum sucht ihn die Einwirkung der Sonne wegzustoßen (wie wir oben gesehen haben), und da er von der Erde nicht getrennt werden kann, so sucht sie ihn aufwärts nach b zu bringen, indem die Erde in eine schräge Lage kommt, wie zuvor. Der Berg wird sich daher in einer höheren Bahn bewegen, als er ohne diese Sonneneinwirkung gethan hätte, und daher früher zu seinem Durchschnittspuncte mit der Ekliptik kommen. Aber die Neigung seines Weges wird, wie in der ersten Hälfte seiner Umdrehung, nicht verändert werden. Also ist der Erfolg dieser Sonnenwirkung in beiden Hälften der Umdrehung des Berges die, daß er zum Durchschnittspunct mit der Ebene der Ekliptik ab früher kommt, als es sonst geschehen würde. Welche Anzahl von Puncten in der ringförmigen Anschwellung der Erde wir auch immer betrachten mögen, wir werden dieselbe Wirkung für jeden erhalten, es wird daher die Folge der Sonneneinwirkung auf die ganze Anschwellung dieselbe sein, d. h. ihre Neigung zur Ebene der Ekliptik wird nicht verändert werden, sondern die

Orte, an welchen sie jene Ebene schneidet, werden sich beständig in einer solchen Richtung verändern, daß sie mit der Richtung der Erdumdrehung zusammentreffen. Im Ganzen wird daher die Folge der Sonneneinwirkung auf die elliptoidische Erde darin bestehen, daß die Puncte, an welchen der Erdäquator die Ebene der Ekliptik schneidet, sich sehr langsam in der Richtung bewegen, welche derjenigen, in der sich die Erde dreht, entgegengesetzt ist; die Neigung aber wird nicht verändert. — Zur Zeit des Sommersolstitiums, wenn der Nordpol der Erde der Sonne zugewendet ist, sind die Folgen der Sonneneinwirkung genau dieselben, wie im Wintersolstitium. Die größere Anziehungskraft der Sonne auf irgend einen Theil der Erdanschwellung, sobald er ihr am nächsten ist, sucht denselben nach der Ebene der Ekliptik hin zu erheben, so daß er sie früher schneidet, als es ohne dies geschähe. Und die geringere Anziehungskraft der Sonne auf einen solchen Theil, wenn er von ihr am entferntesten ist, indem sie die Wirkung einer treibenden Kraft auf ihn ausübt, wenn er über der Ekliptik ist, sucht ihn herabzuziehen, um früher die Ebene der Ekliptik zu schneiden, so daß in beiden Hälften der täglichen Umdrehung sich die Durchschnittspuncte des Erdäquators mit der Ekliptik in der der Rotation entgegengesetzten Richtung bewegen.

Wenn die Erde in die Puncte der Nachtgleichen tritt, wo die Ebene des Erdäquators durch die Sonne geht, so bewirkt letztere keine solche Drehung der Erde und ändert also auch die Stellung des Aequators in keiner Weise; aber zu allen anderen Zeiten bringt sie eine größere oder geringere Bewegung der Durchschnittspuncte des Erdäquators mit der Ebene der Ekliptik, in einer der Rotation entgegengesetzten Richtung, hervor.

Wir haben bisher blos den Einfluß der Sonne auf die äquatoriale Anschwellung der Erde betrachtet, und den Mond unberücksichtigt gelassen. Und doch wird der wesentliche Theil der Präcession nicht durch die Sonne, sondern durch den Mond hervorgebracht. Seine Einwirkung auf die Erdanschwellung ist ganz von der nämlichen Art, wie die der Sonne, nur ist sie stärker. Zwar macht die Mondmasse noch nicht $^1/_{20000000}$ von der der Sonne aus, dafür aber ist der Mond uns 400mal näher als diese, und dies macht seine ganze Anziehung, im Verhältniß zu seiner Masse, 160000 mal so groß, als die der Sonne, obgleich seine ganze Anziehung nur $^1/_{120}$ von der der Sonne ist. Aber weil der Unterschied der Entfernungen der verschiedenen Erdtheile vom Monde ein größeres Verhältniß zur ganzen Ent-

fernung, als für die Sonne gibt, d. h. weil das Verhältniß des Abstandes der nächsten Oberfläche und des Mittelpunctes der Erde für den Mond fast wie 60 : 59 ist, für die Sonne dagegen fast wie 24000 : 23999; so beträgt der Unterschied in der Wirkung des Mondes im Hinwegziehen der nahen und im Fortstoßen der entfernten Theile der Erde vom Mittelpunct derselben ungefähr das Dreißigfache der Sonneneinwirkung. Und da die Präcession gänzlich auf diesem Unterschiede der Wirkungen beider Weltkörper beruht, so ist das durch den Mond hervorgebrachte Vorrücken der Nachtgleichen ungefähr das Dreifache des durch die Sonne erzeugten.

In Folge der Präcession verschiebt sich also der Aequator, der natürlich stets rechtwinklig zur Erdachse bleibt, der Ekliptik entlang in der Art, daß die Durchschnittspuncte beider (die Nachtgleichenpuncte) von Osten nach Westen fortrücken, und zwar in einem Jahr um 50,″10 und die ganze Periode (das sogen. Platonische Jahr), innerhalb welcher die Nachtgleichenpuncte, von der Sonne aus gesehen, wieder an denselben Punct des Fixsternhimmels zurückkehren, ist demnach 25868 Jahre $= \frac{360^0 \times 60' \times 60''}{50,''10}$.

Faßt man den einen dieser Puncte, den **Frühlingspunct**, besonders in's Auge, so wirkt also derselbe der Erde in einem Jahre um 50″ entgegen, mithin tritt die Wiederkehr des Frühlings ein, bevor die Erde einen vollen Umlauf um die Sonne vollendet hat, und zwar früher um die Zeit, welche die Erde gebraucht, um jenen kleinen Bogen ihrer Bahn zurückzulegen, d. h. um den 72. Theil eines Tages oder um 20 Minuten, weil sie durchschnittlich in runder Zahl 1 Tag zu 1 Grad gebraucht. Um so viel verfrüht sich also von einem Jahr zum anderen der Anfang der Jahreszeiten, insbesondere der Eintritt der Nachtgleichen, woher die Erscheinung ihren Namen erhalten hat. Seit Homer bis auf unsere Zeiten beträgt das Vorrücken der Nachtgleichen schon nahe 39 Grade; es kann daher die Präcession, wie leicht zu erachten ist, als ein sicheres Hülfsmittel zu historischen Untersuchungen dienen.

Berücksichtigen wir nunmehr die Folgen der Präcession auf die Stellung der Erdachse. In Figur 5 hat sich nach einer gewissen Zahl von Jahren die Stellung des Erdäquators von e f h in g k l verändert, während seine Neigung zur Ebene der Ekliptik a b dieselbe bleibt. Da die Rotationsachse stets senkrecht zur Ebene des Erdäquators sein muß, so sieht man, daß die Erdachse ihre Stellung aus einer Richtung, wie CP, in eine andere Richtung Cp verändert hat. Wenn wir eine Linie CQ senkrecht zur Ebene der Ekliptik

ziehen, so wird die Neigung der Erdachse zu CQ dieselbe sein, wie die Neigung des Erdäquators zur Ekliptik, und diese ist, wie wir bereits gesehen haben, keiner Veränderung unterworfen. Folglich ist die Neigung von CP oder Cp zu CQ stets dieselbe. Daraus folgt, daß die Erdachse sich langsam um eine zur Ekliptik senkrechte Achse, oder um den Pol der Ekliptik, in einer rückgängigen oder ostwestlichen Bewegung dreht, indem sie dieselbe allgemeine Neigung zu dieser Achse beibehält. Nun ist der Himmelspol derjenige Punct am Himmel, nach welchem die Erdachse gerichtet ist, er ist nichts weiter als der verschwindende Punct der Erdachse, und darum ist jener Punct nicht durchaus unveränderlich, sondern dreht sich in conischer Bewegung langsam in einem Kreise in rückgängiger Richtung rings um den Pol der Ekliptik, nach welchem die Linie CQ gerichtet ist, so daß er in 25868 Jahren einen ganzen Kreis beschreibt, der in einem Abstand von $23^1/_2$ Grad den Ekliptikpol umgibt. Man kann sich den besten Begriff von dieser Bewegung machen, wenn man den Kreisel eines Kindes betrachtet, sobald er nicht in senkrechter Stellung sich dreht, er erläutert die ganze Erscheinung dergestalt, daß man sogleich einen klaren Begriff von ihr erhält, und auch die physische Ursache derselben einsehen kann. Die Art, wie der Astronom diese rückgängige Bewegung der Erdachse und des Polarpunctes am Himmel beobachtet, ist folgende. Mit dem sogenannten Mauerkreise, mit welchem er zu jeder Zeit den Punct des Pols am Himmel direct bestimmen kann, ist er im Stande, jeden Augenblick den genauen Abstand dieses Punctes von je zweien oder mehreren Sternen zu messen, und kann ihn daher, indem er ihn mit diesen Sternen durch Dreiecke verbindet, mit gehöriger Schärfe auf eine Sternkarte eintragen. Ist dies mit gehöriger Genauigkeit geschehen, so ergibt sich, daß der Ort des Pols, wenn er auch für kurze Zeiträume als nicht merklich veränderlich betrachtet werden kann, doch in Wirklichkeit sich in einem Zustande beständiger, obschon äußerst langsamer Bewegung befindet. Dabei ist es merkwürdig, daß diese Bewegung nicht gleichförmig, sondern zusammengesetzt ist aus einer gleichförmigen, oder beinahe gleichförmigen Hauptbewegung, und aus anderen kleineren und untergeordneten periodischen Schwankungen. Die erstere wird veranlaßt durch die Präcession, und aus den letzteren ergibt sich eine andere besondere Erscheinung, welche wir nachher als Schwanken der Erdachse, oder die Nutation, kennen lernen werden. — Man hat bei der conischen Bewegung der Erde die irrige Vorstellung fern zu halten, die Veränderung der Lage der Erdachse im Raume für eine Ver-

änderung der imaginären Linie im Inneren der Erde, um welche diese sich dreht, zu nehmen. Die ganze Erde nimmt an der Bewegung Theil und dreht sich mit der Achse. Daß dies der Fall ist, wird aus zwei wichtigen Thatsachen erwiesen, erstlich daß die Breiten der Orte auf der Erde, oder ihre geographische Lage in Bezug auf den Pol, seit den frühesten Zeiten her keine merkbare Veränderung erfahren haben, und daß zweitens das Meer sein Niveau behält, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Bewegung der Achse nicht mit einer Bewegung der ganzen Erdmasse verbunden wäre.

Die sichtbare Wirkung der Präcession auf den Anblick des Himmels besteht nun darin, daß sich erstlich die Rectascensionen (1) der Sterne ändern. Weil nämlich der Erdäquator seine Durchschnittspuncte mit der Ebene der Ekliptik verändert, so verändert auch der mit dem Erdäquator in dieselbe Ebene fallende Himmelsäquator seine Ebene und seine Durchschnittspuncte mit der Ekliptik. Diese sind aber der erste Punct des Widders und der Waage. Die Rectascension ist, wie wir wissen, der Zeitpunct zwischen dem Durchgang des ersten Punctes des Widders durch den Meridian und dem Durchgang eines Sterns. Da nun dieser Punct des Widders nach rechts fortschreitet, so geht er, in Bezug auf die Sterne, in jedem folgenden Jahr um 50″,10 früher durch den Meridian, als es der Fall sein würde, wenn er stehen geblieben wäre, und darum nehmen (zum größten Theile) die Rectascensionen der Sterne und ihre Längen mit jedem folgenden Jahre ein wenig zu, da der Frühlingspunct der Anfangspunct der Längen wie der Rectascensionen ist. — Daraus folgt zweitens, daß unsere Sterncataloge, Sternkarten und Himmelsgloben nur für eine gewisse Zeit gelten können, da der Frühlingspunct, der Pol des Aequators, also auch der Aequator selbst mit allen seinen Parallelkreisen mit der Zeit durch ganz andere Sterne geht. — Damit hängt drittens zusammen, daß sich die Entfernungen der Sterne vom Nordpol in jedem Jahr ändern, weil sich der Ort des Weltpols von Jahr zu Jahr ändert; die Entfernungen der einen Sterne nehmen zu, die der anderen ab. In unseren Tagen ist der Nordpol des Aequators bekanntlich nahe bei dem kleinen Bären, daher der glänzende Stern dieses Sternbildes der Polarstern genannt wird, welcher es nicht immer bleiben wird, wie er es auch nicht immer gewesen ist. Zu der Zeit, wo die ersten Sternverzeichnisse gemacht wurden, war er 12° vom Nordpol entfernt, jetzt dagegen nur 1° 24′, und er wird sich demselben noch mehr, bis auf einen halben Grad nähern; alsdann wird er sich wieder von demselben entfernen,

und anderen Platz machen, welche ihm als Gesellschafter des Pols folgen werden. Man kann daher, nach den Berechnungen der Astronomen, folgenden Cyklus von Polarsternen annehmen:

um	4000	Jahre vor Chr.	ι des Drachen 4° vom Pole,
"	1700	" " "	α des Drachen fast ganz genau im Pole,
"	2150	" nach Chr.	α des kleinen Bären (der heutige Polarstern) nur 20 Minut. vom Pole,
"	4200	" " "	γ des Cepheus 1° 50′ vom Pole,
"	6000	" " "	β des Cepheus 4° vom Pole,
"	7500	" " "	α des Cepheus 2° vom Pole,
"	10500	" " "	α des Schwans (Deneb) 7° vom Pole,
"	11400	" " "	δ des Schwans 3° vom Pole,
"	13800	" " "	α der Leier (Wega) 5° vom Pole.

Auf diesen glänzendsten aller Polarsterne folgen dann 7800 Jahre lang nur Sterne der vierten und geringerer Größe, bis nach 25868 Jahren ι des Drachen wieder den Cyklus beginnt. Unser gegenwärtiger Polarstern behauptet diesen Rang erst seit den Zeiten des Hipparch und wird ihn noch bis gegen 3200 Jahre nach Chr. behalten. Man sieht leicht ein, daß hieraus eine bedeutende Veränderung nicht allein für die Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik, sondern auch für die Sichtbarkeitsgrenze hervorgehen muß. Ist Wega z. B. der Polarstern, wann der Aequator 90°, die Ekliptik $113^1/_2$° Decl. von ihr abstehen, so wird es nicht mehr befremden, daß nach und nach viele der jetzt unter 50° N. Br. unsichtbaren Sterne über den Horizont rücken, und andere jetzt sichtbare wieder über die Grenze der Sichtbarkeit verschwinden. Zu jenen gehören Achernar, der Tucan, Pfau, Paradiesvogel, das südliche Kreuz und einige Theile des Schiffes Argo nebst allen nördlich von dieser Linie stehenden Gestirnen, so daß von den südlichen Sternen erster Größe nur der Canopus stets für 50° N. Br. unsichtbar bleibt. Dagegen verschwinden für mehrere Jahrtausende der prachtvolle Orion, der Hase, die Taube, der große Hund, das Einhorn, der kleine Hund, die Wasserschlange mit Becher und Raben, Fomahant und der größte Theil des Wallfisches. Wenn Wega der Nordpolarstern ist, so ist der jetzige Frühlingspunct der Herbstpunct; die Ekliptik geht dann durch die nämlichen Sternbilder, wie jetzt, nur nicht genau durch die nämlichen Sterne, der Unterschied ist aber in den nächsten 12000 Jahren so gering, daß er auf das Klima fast gar keinen merklichen Einfluß haben kann. Und da in der

ganzen langen Periode der Unterschied in der Schiefe der Ekliptik höchstens 6 Grad beträgt, so müssen für die großen Veränderungen der Klimate, deren Spuren sich in den Petrefacten finden, ganz andere als astronomische Ursachen gesucht werden.

Mit der Präcession ist das oben erwähnte Schwanken der Erdachse, oder die Nutation, genau verbunden, wie denn auch beide Erscheinungen theoretisch zusammengehören. Wir wissen aus dem Obigen, daß die stärkere Anziehung der Sonne auf die ringförmige Anschwellung der Erde eine Bewegung in der Lage der Erdachse hervorbringt, und daß diese vorzugsweise zur Zeit oder in der Nähe des Winter- und Sommersolstitiums der Fall ist, während zur Zeit der Nachtgleichen die Sonnenanziehung kein Bestreben hat, ein Vorrücken der Nutation hervorzubringen. Daraus folgt, daß die Nachtgleichen in den Sommer- und Wintermonaten schneller vorrücken, als in den dazwischen liegenden Monaten, und daß somit eine gewisse Unregelmäßigkeit in dieser Erscheinung stattfindet, welche das solare (durch die Sonne bewirkte) Schwanken der Erdachse genannt wird. Wir haben ferner gesehen, daß der Mond am Vorrücken der Nutation einen beträchtlicheren Antheil hat als die Sonne. Die Unregelmäßigkeit, welche der Mond in dieser Erscheinung während seines monatlichen Umlaufes um die Erde hervorbringt, ist ähnlich der, welche die Sonne während ihres scheinbaren jährlichen Umlaufes bewirkt, aber sie ist geringer. Dagegen entsteht durch den Mond eine Hauptunregelmäßigkeit in der Bewegung der Erdachse auf folgende Weise. Der Mond bewegt sich in einer gegen die Ekliptik geneigten Bahn, und zwar so, daß dieser Winkel nicht beständig ist; denn die Sonne zieht Erde und Mond an und stört, indem sie ungleichförmig auf beide wirkt, die Bewegung des Mondes in Bezug auf die Erde, fast ebenso wie sie die Bewegung des auf der äquatorialen Anschwellung angenommenen Berges stört. Die Wirkung hiervon ist, daß der Durchschnittspunct der Mondbahn mit der Ekliptik sich rückwärts bewegt, und der Mond braucht, um zu dem Orte zurückzugelangen, wo seine Bahn die Ekliptik zu einer gewissen Zeit geschnitten, eine Periode von etwa 19 Jahren. Während der einen Hälfte dieses Zeitraums ist der Winkel der Mondbahn mit dem Erdäquator größer, während der anderen kleiner; im ersteren Falle sucht die Einwirkung des Mondes die Neigung des Erdäquators gegen die Ekliptik zu vermindern und das Vorrücken der Nutation zu beschleunigen, im letzteren Fall sucht sie jene Neigung zu vermehren, und das Vorrücken der Nutation geht langsam.

Die natürliche Folge davon ist, daß sich in der Bewegung der Erdachse alle 19 Jahre eine merkliche Unregelmäßigkeit zeigt, welche das lunare (durch den Mond bewirkte) Schwanken heißt.

Die lunisolare Nutation ist also eine kleine und langsame, untergeordnete drehende Bewegung der Erdachse, in Folge welcher, wenn sie allein bestände, der Pol in einer Periode von 19 Jahren am Himmel eine kleine Ellipse beschreiben würde, deren große Achse = 18″,5 und die kleine 13″,74 ist. Die große Achse ist dabei gegen den Pol der Ekliptik gerichtet, so daß die kleine mit dieser Richtung einen rechten Winkel bildet. Es bestehen nun aber beide Erscheinungen, Präcession und Nutation, vereint mit einander; und da der Pol, während er in Folge der Nutation seine kleine Ellipse von 18″,5 Durchmesser beschreibt, vermöge der größeren und regelmäßig fortschreitenden Bewegung der Präcession durch einen solchen Theil des Kreises um den Pol der Ekliptik geführt wird, als 19 Jahren entspricht, d. h. durch einen Winkel von 19 + 50″, um den Mittelpunct (was bei einem kleinen Kreise von 23° 28″ Durchmesser, vom Mittelpunct der Kugel aus gesehen, 6′ 20″ beträgt), so wird die Bahn, welche der Pol in Folge der beiden gleichzeitig bestehenden Bewegungen durchläuft, weder eine Ellipse, noch ein vollkommener Kreis sein, sondern ein Ring mit kleinen wellenförmigen Ausbiegungen.

Weil der Ort des Nachtgleichenpunctes in der Ekliptik durch den Ort des Weltpoles am Himmel bestimmt wird, so bewirkt die Nutation ein kleines abwechselndes Vorschreiten und Zurückschreiten der Nachtgleichenpuncte, wodurch in derselben Periode sowohl die Längen als die Rectascensionen der Sterne ebenfalls abwechselnd vermehrt und vermindert werden.

Die ersten vollständigen Beobachtungen, welche die Nutation bewiesen, stellte Bradley an. Bei seinen Beobachtungen über die Aberration fand er, daß die Declinationen der Sterne in der Nähe des Nachtgleichenkreises sich stärker änderten, als der Präcession angemessen war, wogegen die bei dem Sonnenwendenkreis stehenden Sterne ihre Abweichungen zu wenig änderten. Der Nordpol des Aequators schien sich also den Sternen genähert zu haben, die um die Frühlingsnachtgleiche und die Wintersonnenwende mit der Sonne zum Meridian kommen, dagegen von den Sternen zurückgewichen zu sein, die um das Herbstäquinoctium und Sommersolstitium mit der Sonne zugleich culminiren. Bradley ward schon damals durch die Lage des aufsteigenden Mondknotens auf den Gedanken gebracht, daß die Wirkung des

Mondes auf die von der Kugelgestalt abweichende Form der Erde diese Erscheinungen bewirken könne. Im Jahr 1727 lag der aufsteigende Mondsknoten im Widder, die Neigung der Mondbahn gegen den Aequator war also am größten, denn sie betrug $23\frac{1}{2} + 5 = 28\frac{1}{2}$ Grad. Ein vergrößertes, das mittlere übertreffendes Vorrücken der Nutation erklärte zwar einige der Erscheinungen, aber um auch die übrigen zu erklären, war es nöthig, eine kleine Aenderung in der Lage der Erdachse, d. h. eine Nutation anzunehmen. Im Jahr 1732, wo der Mondknoten bis zum Steinbock zurückgegangen war, änderten die Sterne um den Colur der Nachtgleichen ihre Abweichung nicht mehr stärker, als es dem mittleren Vorrücken der Nutation angemessen war; in den folgenden Jahren bis 1736 wurde diese Aenderung kleiner, als sie der mittleren Vorrückung entsprach, und um das Jahr 1736 hatten Sterne um den Colur der Nachtgleichen ihre Declination in 9 Jahren um 18 Secunden weniger geändert, als die mittlere Vorrückung forderte. Bradley setzte nun die Beobachtungen durch die ganze Periode eines Umlaufs der Mondknoten bis 1747 fort, und hatte am Schlusse dieser Zeit die Genugthuung wahrzunehmen, daß die Sterne ihre Position wieder erlangt hatten, als ob gar keine Aenderung in der Lage der Erdachse stattgefunden hätte, wodurch also seine Ansicht über die Ursache der Erscheinungen bestätigt ward.

Ebbe und Fluth.

44. Fluth und Ebbe, oder die Meeresgezeiten, sind bekanntlich diejenige Erscheinung, die in einem abwechselnden Steigen und Fallen des Meeresspiegels besteht, wodurch der Strand bald überschwemmt, bald trocken gelegt wird, und wobei zweimal innerhalb 25 Stunden höchster Stand (Fluth) und niedrigster Stand (Ebbe) eintritt. Zur Zeit des höchsten Standes bemerkt man mehrere Minuten lang keine Veränderung im Stande des Wassers; allmälig jedoch fängt dasselbe an, abzulaufen, erst langsam, dann aber mit wachsender Geschwindigkeit, die nach ungefähr 3 Stunden ihr Maximum erreicht. Hierauf dauert das Fallen mit abnehmender Geschwindigkeit noch 3 Stunden lang fort, so daß ungefähr nach etwas mehr als 6 Stunden, von der Zeit der höchsten Fluth an gerechnet, der tiefste Stand des Wassers eintritt, den man die tiefe Ebbe oder die tiefe See nennt,

während der höchste Stand auch Hochwasser genannt wird. In diesem tiefen Stande verharrt das Meer nur kurze Zeit, und fängt dann wieder 6 Stunden zu steigen an in derselben Weise, wie es vorher gefallen, so daß nach etwas mehr als 6 Stunden wieder Hochwasser eintritt. Auf solche Weise wiederholt sich die Erscheinung in Perioden von 12 Stunden 25 Minuten. Der Unterschied des Wasserstandes zwischen der hohen Fluth und tiefen Ebbe ist aber weder an allen Orten, noch an denselben Orten zu allen Zeiten gleich; auch ändern zum Theil die Lage der Küsten und die Richtung des Windes den regelmäßigen Erfolg der Erscheinung bedeutend.

Die Gezeiten sind eine Störung, verursacht durch die Anziehung des Mondes und der Sonne. Befreit man die Erscheinung von allen localen und temporären Einflüssen, so gibt sich für die Höhe des Wassers eine monatliche und jährliche Periode zu erkennen, indem man erstlich einen größeren Unterschied des Wassers zur Zeit des Neu- und Vollmondes (in den Syzygien), als zur Zeit der Quadraturen, und zweitens bemerkt, daß dieser Unterschied größer ist, zur Zeit, wenn die Erde im Perihel ist, als wenn sie sich im Aphel befindet. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß Sonne und Mond als Ursache der Ebbe und Fluth zu betrachten sind. Daß aber vorzugsweise der Mond dabei wirksam ist, ersehen wir daraus, daß an jedem Ort die Fluthen immer eine bestimmte Zeit nach dem Durchgang des Mondes durch den oberen sowohl, als auch den unteren Meridian stattfinden; und da der Mond in seiner Bahn um die Erde von Westen nach Osten fortrückt, und sich der Ortsmeridian noch um einen kleinen Bogen über einen Sonnentag hinausdrehen muß, damit der Mond wieder in ihm stehe, so verspätet sich die Fluth von einem Tag zum anderen, wie der Mond. Die Mitwirkung der Sonne ergibt sich aus dem schon angeführten Umstande, daß bei denjenigen Stellungen beider Weltkörper, welche die Erscheinung des Neu- und Vollmondes bewirken, die Fluthen am stärksten sind. Jeder von beiden Körpern verursacht also seine, unabhängige Fluth, so jedoch, daß die Mondfluth, welche die größere ist, um so stärker wird, wenn mit ihr die Sonnenfluth auf einen Zeitpunct zusammentrifft. Sie schwächen sich dagegen, je näher eine Sonnenebbe mit einer Mondfluth zusammenkommt.

Da der Mond durch seine Anziehung im Stande ist, eine Bewegung des Erdäquators hervorzubringen, wie wir sie bei der Präcession kennen gelernt haben, so ist es wohl sehr natürlich, daß er durch dieselbe Kraft das leicht bewegliche Gewässer des Oceans, über dem er gerade steht, seinen

Einfluß fühlen lassen wird, indem er es anzieht und dadurch in die Höhe hebt (Hauptfluth). Minder einleuchtend möchte es dagegen auf den ersten Blick erscheinen, daß die nämliche Ursache sie zu derselben Zeit auch auf der entgegengesetzten Seite anhäuft (Gegenfluth). Allein es ist nicht die volle Anziehung des Mondes, welche die Wassertheilchen des Meeres der Erdschwere zuwider bewegt, sondern nur der Unterschied der Anziehungen, die an den beiden gegenüber liegenden Theilen der Oberfläche und am Mittelpunct der Erde stattfinden, wodurch die Gewässer gehoben werden. Gesetzt, ein Wassertropfen falle unter dem Einfluß einer Anziehungskraft, die frei auf jedes seiner Theilchen wirkt und während des Fallens beständig an Intensität zunimmt, so werden diejenigen Theile, welche jener Kraft näher liegen, mehr angezogen werden, als die um den Mittelpunct des Tropfens befindlichen, und letztere wieder mehr, als die von jener Kraft entfernteren, so daß dadurch der ganze Tropfen nach der Richtung seiner Bewegung eine längliche Gestalt annehmen muß, wobei jedoch dem Streben seiner Theile, sich von einander zu trennen, durch die gegenseitige Attraction derselben entgegengewirkt wird. Da nun die Erde in der That beständig in einem Zustande des Fallens gegen den Mond ist, indem sie durch ihn fortwährend aus ihrer Bahn gezogen wird, so ergibt sich hieraus leicht, was für eine Gestalt die Wasserfläche des Oceans annehmen muß. Offenbar werden diejenigen Theile am stärksten angezogen werden, die dem Mond am nächsten sind oder ihn im Zenith haben, und es wird sich hier das Gewässer anhäufen. Von dieser Stelle an wird der Wasserstand abnehmen und in den Puncten am kleinsten sein, die um 90° von ersterer entfernt sind, d. h. den Mond im Horizont haben. Auf derjenigen Stelle aber, welche der erstgenannten diametral entgegengesetzt ist, wird ebenfalls eine Erhöhung des Wassers statthaben, weil diese Stelle offenbar am schwächsten angezogen wird, also hinter dem Erdmittelpunct zurückbleibt. Folglich wird durch die Mondanziehung das Wasser, welches an den beiden Enden des in der Anziehungsrichtung liegenden Erddurchmessers befindlich ist, sich heben, während das auf beiden Seiten unter einem rechten Winkel mit jener Richtung befindliche sich senken wird. Die Geometrie zeigt auch, daß die Gleichgewichtsform, welche eine Wasserschichte, die einen sphärischen Körper einhüllt, unter dem Einfluß der Anziehung des Mondes annehmen wird, diejenige eines Ellipsoides ist, dessen nach dem Monde gerichtete halbe große Achse etwa 58 Zoll länger ist, als die auf diese Achse senkrechte, halbe kleine Achse.

Weil nun aber der Mond, zufolge seiner monatlichen eigenen und der scheinbaren täglichen Bewegung ununterbrochen fortschreitet, so läßt er den Gewässern des Oceans niemals Zeit, diese elliptoidische Gestalt vollkommen auszubilden, der Scheitel des Ellipsoides ist auf der Erdoberfläche mit dem Monde fortgerückt, und der Ocean muß sich eine neue Gleichgewichtslage suchen. Es entsteht aber hierdurch nicht etwa ein die Erde umkreisender Strom, sondern eine Woge von großer Ausdehnung und nur sehr geringer Tiefe, welche den scheinbaren Bewegungen des Mondes folgt, oder zu folgen bestrebt ist, und die wir Fluth und Ebbe nennen, sobald ihre höheren oder niedrigeren Theile unsere Küsten treffen.

Außer dem Monde übt auch die Sonne eine Anziehung auf das Wasser aus und bringt eine ähnliche Woge hervor, deren Scheitel der scheinbaren Bewegung der Sonne am Himmel zu folgen und die periodischen Ungleichheiten derselben widerzugeben strebt. Die Einwirkung der Sonne ist aber geringer, als die des Mondes. Denn da die Wirksamkeit eines anziehenden Weltkörpers bei dem Emporheben der Gewässer sich umgekehrt verhält, wie der Cubus seiner Entfernung, so kann der Mond, ungeachtet seine Masse über 30 Millionen mal kleiner ist, als die Sonnenmasse, doch mehr als doppelt so stark ziehen, als die 400 mal entferntere Sonne, weil der Cubus dieser Entfernung 64 Millionen beträgt. Die Erfahrung zeigt auch, daß es wirklich zweierlei Fluthen neben einander gibt, eine stärkere Mondfluth und eine geringere Sonnenfluth. Diese beiden Fluthwogen existiren gleichzeitig, und von der gegenseitigen monatlichen Stellung beider Weltkörper wird es abhangen, ob sie sich mit einander vereinigen oder sich theilweise neutralisiren. Hieraus entsteht im ersteren Fall eine große Fluth, die sogenannte Springfluth, zur Zeit der Syzygien, und im zweiten Fall eine niedrige, die sogenannte Nippfluth, wenn zur Zeit der Quadraturen das durch die Sonne hervorgebrachte Hochwasser mit dem durch den Mond erzeugten niedrigen, und das durch die Sonne hervorgebrachte niedrige Wasser mit der Mondfluth zusammentrifft. Beide Fluthen verhalten sich durchschnittlich etwa wie 7 zu 3 zu einander.

Aus der Vereinigung der Mond- und Sonnenfluth entspringt die Beschleunigung und Verspätung der Fluthen. Uebte der Mond in der Ebene des Erdäquators allein seine Anziehung aus, so würde der Fluthtag, d. h. die Zwischenzeit, welche verfließt, bis der nämliche Scheitel der Fluthwoge zu derselben Stelle der Erdoberfläche zurückkehrt, dem Mond-

tage oder 24 Stunden 54 Minuten Sonnenzeit gleich sein. Ebenso würde der Fluthtag dem Sonnentag gleich sein, wenn die Sonne sich beständig im Aequator bewegte und ihre Anziehung allein auf die Gewässer wirkte. Je nachdem nun aber die beiden Sonderfluthen auf eine Vereinigung zugehen oder von ihr herkommen, wird der Fluthtag veränderlich sein, weil, wenn die Scheitel der beiden Wogen nicht zusammenfallen, das Maximum der vereinigten Höhe der letzteren an einem zwischen jenen Scheiteln liegenden Puncte stattfinden wird. Eine Verschiedenheit der Länge der auf einander folgenden Fluthtage macht sich besonders zur Zeit der Syzygien bemerklich.

Was endlich die jährlichen Perioden anlangt, deren es mehrere gibt, so ist vorzüglich die hervorzuheben, welche vom Eintritt der Erde ins Perihel oder Aphel abhangt. Im ersteren befindet sich die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums, im letzteren zur Zeit des Sommersolstitiums; es werden demnach in den Wintermonaten etwas höhere Fluthen stattfinden, als in den Sommermonaten. Da übrigens der Mond nie mehr als 30° vom Aequator sich entfernen kann, so folgt daraus, daß innerhalb der Zone, die von 30° nördlicher und 30° südlicher Breite begrenzt wird, die Ebbe und Fluth am größten sein muß, was auch die Beobachtungen bestätigen, da in den Meeren bei den Polen gar keine Fluth bemerkt wird. Außerdem können blos freie und große Meere, die mit dem Ocean in Verbindung stehen, Ebbe und Fluth haben; das Wasser kleiner und abgeschlossener Meere wird zwar von dem über ihm stehenden Monde auch angezogen, aber der geringen Ausdehnung wegen überall gleichförmig, so daß eine Erhöhung blos eines einzelnen Theiles nicht stattfinden kann.

Obgleich, wie wir gesehen haben, die Meeresgezeiten im Allgemeinen mit dem Stand und der Bewegung der Sonne und des Mondes übereinstimmen, so zeigen sich doch darin auch so viele Abweichungen, daß Manche der Theorie zu Liebe dieselben leugneten, und Andere die richtige Theorie durch phantastische Dichtungen zu verdrängen suchten, weil beide nicht bedachten, daß die Erde in der Wirklichkeit keineswegs eine gleichförmig mit Wasser bedeckte Kugel ist, wie die Theorie zur Vereinfachung ihrer Forschungen sie nothwendig annehmen mußte, sondern durch ihre Continente drei große Dämme bildet, welche eine Rotation völlig unmöglich machen; diese würde allerdings ihre Bahn vollenden, wenn sie dieselbe ungehemmt durchlaufen könnte, wenn nicht am Widerstande ihre Kraft sich stärkte, die auf freiem

Meere nur gering ist. Ueberdies gestatten viele Meere wegen ihrer ungleichen Tiefe und vielfachen Hemmungen nur Fluthwellen, deren Aufeinanderfolge und Modificationen sich blos aus weit ausgedehnten Erfahrungen, unterstützt durch das Allgemeine der Theorie, erkennen lassen, wie Whewell in Cambridge gezeigt hat. Besäße das Wasser keine Trägheit, hätte es nicht Hindernisse verschiedener Art zu überwinden, wie z. B. die Reibung am Meeresbette, die Länge und geringe Weite mancher Canäle, durch welche die Fluthwoge sich drängen muß, ehe sie zur Küste und zu einem Hafen gelangt u. s. w., so würde zwischen dem Momente der Ebbe und Fluth und demjenigen der Culmination des Mondes und der Sonne kein Unterschied stattfinden. Allein dieser Unterschied ist, wie die Erfahrung lehrt, vorhanden und ist bekannt unter dem Namen Hafenzeit (établissement du port), deren Beobachtung für die Seefahrt ein Gegenstand von hoher Wichtigkeit ist.

Sehr wahrscheinlich ist aus denselben Ursachen auch die Atmosphäre an ihrer Oberfläche in einer ähnlichen fluthenden und ebbenden Bewegung begriffen, wie das Meer; allein dieselbe entzieht sich theils der Beobachtung, theils ist sie auch ohne merklichen Einfluß auf die unteren Luftschichten. Man hat den Einfluß derselben auf den Luftdruck an der Erdoberfläche in Rechnung gezogen und gefunden, daß die größte Luftfluth selbst unter dem Aequator höchstens eine Aenderung von $1/_{50}$ Linie im Barometerstand hervorbringen könnte, eine Aenderung, welche zu jeder Zeit von den Einflüssen der Wärme, Winde u. s. w. weit überwogen wird.

Veränderungen der Ekliptikschiefe, der Excentricität und der Lage der Apsiden.

45. Wir haben gesehen (43), daß für die Präcession der Nachtgleichen die Einwirkung der Planeten auf die Erde nicht in Betracht kommen konnte, dagegen hängt von dem Gesammteinfluß derselben auf die Erdbahn die Aenderung der Ekliptik ab, indem sie durch denselben allmälig dem Aequator genähert und auch zugleich die Nachtgleichenpuncte etwas weniger vorwärts bewegt werden. Dieses Vorwärtsgehen beträgt nahe 16 Secunden in einem Jahrhundert. Allein in der Folge der Jahrhunderte, wenn nämlich die ebenfalls beweglichen Planetenbahnen eine ganz andere Lage am

Himmel werden eingenommen haben, wird, durch die Einwirkung der Planeten, die Schiefe der Ekliptik wieder zunehmen, und die jetzt vorwärtsgehende, von den Planeten herrührende Bewegung der Nachtgleichen alsdann gegen Westen gerichtet sein. Dies ist die sogenannte seculäre Aenderung der Ekliptik, welche mit der Präcession und Nutation nichts gemein hat. Da aber, wenn einmal die Lage der Ekliptik eine ganz andere als die jetzige sein wird, die Wirkung der Sonne und des Mondes selbst auch geändert werden muß, so wird dadurch auch eine eigene sehr geringe Bewegung des Aequators entstehen, wodurch ebenfalls eine, obschon nur sehr kleine Veränderung der Schiefe der Ekliptik erzeugt wird. Natürlich muß nun der wegen der Präcession auf der ruhenden Ekliptik rückwärts gehende Aequator auch noch auf der durch die Planeten bewegten Ekliptik rückwärtsgehen, was die allgemeine Präcession heißt. Die Theorie aller dieser Bewegungen haben Laplace und Bessel mit großer Schärfe entwickelt.

Wenn man, wie hier, von Veränderungen der Bahnelemente spricht, so ist dies natürlich immer so zu verstehen, daß es eigentlich Bewegungen des Erdkörpers sind, welche demselben von den störenden Körpern beigebracht werden; die Erde wird z. B. durch die Anziehung der Planeten, deren Bahnen bekanntlich nicht in der Ebene der Ekliptik liegen, neben vorübergehenden Hebungen aus der dermaligen Ekliptikebene, auch sehr langsam in einerlei Sinn aus derselben entfernt, und dies erscheint als jene allmälige Veränderung der Schiefe. Sie hat also neben ihren zwei Hauptbewegungen noch eine große Menge kleiner Nebenbewegungen; der Jahresumlauf und die Rotation sind die Hauptbewegungen, alle anderen Bewegungen derselben sind die sogenannten Störungen.

Die durch die Stellung der Planeten bewirkte Veränderung der Ekliptikschiefe erfolgt in sehr langen Perioden; die hauptsächlichsten sind eine von 92930 Jahren und eine andere von 40350 Jahren. Ueberhaupt hangen die Schwankungen in der Neigung der Erdachse gegen die Erdbahn (Ekliptikschiefe) von mehreren Perioden ab, die sich so combiniren, daß die Zunahme oft in Abnahme und umgekehrt übergeht, ohne daß die Extreme erreicht werden; die äußersten Grenzen werden erst nach Millionen Jahren wieder erreicht. Kleinere Schwankungen von kürzeren Perioden wirken noch vielfach ein, worunter die von der Anziehung des Mondes herrührende Nutation die wichtigste ist, welche die Schiefe periodisch um 9″ verändern kann.

Man ersieht hieraus leicht, daß die Ekliptikschiefe erst im Laufe der Jahrhunderte merklich werden kann, während die Bewegung der Erde in einem Jahre, oder selbst für viele Jahrzehnte so erfolgt, als ob ihr Schwerpunct wirklich in einer festen Ebene fortrückte, obwohl es in aller Strenge nie der Fall ist. Die ältesten geschichtlichen Nachrichten deuten eine fast 24 Grad betragende Schiefe der Ekliptik an, welche jetzt 23° 28′ beträgt. Die Vergleichung der griechischen und arabischen Beobachtungen mit den ältesten chinesischen (1100 v. Chr.), sowie mit den neueren, ergibt gegenwärtig ein Abnehmen der Schiefe. Wie langsam aber diese Abnahme vor sich geht, mag man daraus ermessen, daß sie in jenen 29 Jahrhunderten noch keinen halben Grad ausmacht, und — wenn man sich nur an den neuesten hundertjährigen Zeitraum der genauen Beobachtungen hält — in einem Jahrhundert keine volle Minute, sondern nur etwas über 48 Secunden, d. h. den 75. Theil eines Grades, so daß die Veränderung selbst innerhalb eines Jahrhunderts nur im Bereich der astronomischen Beobachtung und ohne allen Einfluß auf die Naturverhältnisse der Erde bleibt. Die Veränderung der Neigung ist auch bei den übrigen Planeten ungemein langsam, und beträgt bei keinem, selbst bei den kleinen, bei denen sich die stärksten Neigungen finden, gegenwärtig mehr als 1″ im Jahr. Rechnen wir aber nach Jahrtausenden, so würde die Veränderung der Ekliptikschiefe nicht mehr einflußlos auf die Naturverhältnisse der Erde bleiben, in Folge andauernder Abnahme würde der Unterschied des Sonnenstandes zu den verschiedenen Zeiten des Jahres für die einzelnen Erdorte merklich geringer, die Erdzonen selbst würden ihre Grenzen merklich ändern, indem die Mittelzonen an Breite zunähmen. Man kann daher die Frage aufwerfen, ob die Ekliptikschiefe soweit abnehme, daß — eine stets gleichmäßige Abnahme vorausgesetzt — nach 177500 Jahren Aequator und Ekliptik zusammenfallen? Und ob ferner sich beide Ebenen alsdann wieder trennen, indem die Ekliptikebene stets nach einer Richtung fortrückt und die Schiefe ebenso langsam zunimmt, etwa bis zu dem anderen Extrem eines rechtwinkligen Standes beider Ebenen, was, von dem Jahr 179300 unserer Zeitrechnung an (177500 + 1800, dem Jahr des Zusammenfallens), wiederum nach 675000 Jahren erfolgen würde? Die auf das Gravitationsgesetz gegründeten Rechnungen verneinen diese Fragen, und zeigen, daß jene Extreme nie eintreten können, wofern das Sonnensystem den in ihm waltenden Schwerkräften überlassen bleibt, und keine gewaltsame Revolution eintritt; die Schiefe der Ekliptik kann

nicht unter 21° abnehmen, noch bis 28° zunehmen, so daß sie nur einen Spielraum von 6 Graden hat, und der Kreis, in welchem sich die verlängert gedachte Erdachse um den Nordpol der Ekliptik dreht, eine Zone von 6° Breite ist zwischen $21\frac{1}{2}$ und $27\frac{1}{2}$° Abstand von dem mittleren Nordpol der Ekliptik. Die Ekliptikschiefe bleibt stets zwischen diesen Grenzen eingeschlossen und schwankt in ungeheuren Zeiträumen um einen mittleren Werth von $24\frac{1}{2}$ Graden her, Jahrtausende abnehmend, und dann wieder Jahrtausende hindurch zunehmend. Man hat auch diese Zeiträume berechnet und gefunden, daß die Schiefe der Ekliptik 29400 Jahre v. Chr. einen größten Werth von $27\frac{1}{2}$ Grad erreicht, sofort 15000 Jahre bis zu $21\frac{1}{3}$ Grad im Jahr 14400 v. Chr. abgenommen hatte, um von da an während 12400 Jahren bis zu fast 24 Grad zuzunehmen, den größten Werth, den sie in den geschichtlichen Zeiten ums Jahr 2000 v. Chr. hatte. Mit diesem hat die gegenwärtige Abnahmeperiode begonnen, welche 8600 Jahre dauert, und in welcher sie bis etwas unter 23 Grad ums Jahr 6600 n. Chr. abnimmt, worauf sie wieder 12700 Jahre hindurch bis zu $25\frac{1}{3}$ Grad zunehmen wird.

Die Schiefe der Ekliptik kann also, wie man sieht, nur um 4 Grad größer werden, als sie jetzt ist; dann sind Tropenzonen und Polarzonen um soviel breiter, die Mittelzonen aber je um 8 Grad schmäler; die Sonne steht an jedem Ort unserer nördlichen Mittelzone zur Zeit der Sommersonnenwende um 4 Grad höher am Himmel, zur Zeit der Wintersonnenwende um ebenso viel niedriger, und der Unterschied zwischen dem längsten und kürzesten Tag ist etwas größer, als jetzt. Trient und Triest haben dann im Winter einen Sonnenstand, übrigens mit kürzeren Tagen, wie ihn jetzt etwa Frankfurt oder Prag haben, und im Sommer ist ihr Sonnenstand so, wie ihn derzeit Rom hat, nur daß ihre Tage länger sind. Auf der anderen Seite kann die Ekliptikschiefe aber auch um $2\frac{1}{2}$ Grad kleiner werden, als sie jetzt ist; um ebenso viel sind dann Tropen- und Polarzonen schmäler, die Mittelzonen dagegen um 5 Grad breiter. Wenn die Schiefe bis auf $21\frac{1}{2}$° sich vermindert, so werden die Sommertage in der mittleren Mittelzone um 25 Minuten kürzer, die Wintertage um ebenso viel länger werden, als gegenwärtig; die Wärme der Sommer wird durchschnittlich etwa um $\frac{1}{2}$ Grad geringer, die Kälte der Winter aber in demselben Maße milder werden, für die Uebergangszeiten, sowie für das Jahr im Durchschnitt, würde sich keine Veränderung herausstellen. Wäre es möglich, Zustände im Bau der Erdkruste

zu unterscheiden, welche sich, als durch die Aenderung in der Schiefe der Ekliptik bedingt, nachweisen ließen, so würden dadurch die Geologen einen Zeitmaßstab gewinnen, mit dessen Hülfe sie nicht nur das Aeltere und Neuere der geologischen Bildungen überhaupt, sondern das bestimmte Alter derselben mit einiger Sicherheit erkennen könnten. Allein die klimatischen Aenderungen, welche durch die Schwankungen der Ekliptik bedingt werden, sind viel zu unbedeutend, um aus ihren Wirkungen in geologischen Untersuchungen erkannt werden zu können, zumal da die Geologie Spuren von viel größeren Temperaturänderungen ganz anderer Art deutlich nachweist, welche das Erkennen und Isoliren so kleiner Differenzen noch mehr erschweren, als es an sich schon schwierig ist. Wenn demnach die Erde, wie die geologischen Untersuchungen darthun, einst beträchtlich wärmer, als jetzt war, so kann der Grund nicht in den Schwankungen der Ekliptikschiefe gesucht werden. Ueberhaupt sind alle Hypothesen, die man über eine in früheren Zeiten vermeintlich verschiedene Stellung der Erdachse gegen die Sonne, eine verschiedene Lage des Aequators oder der Erdachse in Bezug auf die Erdtheile u. dgl. so vielfach aufgestellt hat, vor einer gründlichen analytischen Untersuchung in ihr Nichts zerronnen. Die Ursachen der einst bedeutend höheren Temperatur der Erde sind vielmehr in jenem großartigen chemischen Processe zu suchen, durch den unser Wohnort seine jetzige Gestaltung erhalten hat; keineswegs aber in einer verschiedenen Lage gegen die Sonne. Wir wissen, daß dem Erdball eine innere Wärme inwohnt, die, soweit unsere Erfahrungen reichen, mit je 130 Fuß Tiefe durchschnittlich um 1 Grad zunimmt, so daß in großen Tiefen sehr wahrscheinlich eine bedeutend hohe Temperatur herrscht und das Erdinnere selbst noch fortwährend in feuerflüssigem Zustande sich befindet. Niemand kann hierbei an eine Wirkung der Sonne denken, die schon in 60 Fuß Tiefe völlig Null ist. Nun aber war gewiß das Innere des Erdballs und die Oberfläche einst in viel lebhafterer Wechselwirkung, als jetzt, zu einer Zeit namentlich, als die tief gespaltene Erdrinde aus ihren Klüften eine Wärme ausstrahlte, welche keine Zonenunterschiede zuließ, sondern über den ganzen Erdball ein und dasselbe Klima der jetzigen Tropen verbreitete und denselben zur Geburtsstätte der lebendigen Schöpfung in der Reihe hunderttausendjähriger Schöpfungszeiten machte. Diese Urwärme ist noch vorhanden, aber tief im Innern des Erdballs, und von dieser Temperatur des Erdinnern sind die Vulcane, welche durch ihre in einen Krater auslaufenden Gänge und Spalten in einer fortdauernden Verbindung mit dem Erdinnern stehen, sowie über-

haupt die gesammte vulcanische Thätigkeit, „die Reaction des Innern gegen die Oberfläche," die nie ruhenden Zeugen. Hieraus, und allein hieraus ist die untergegangene gewaltige Vegetation der Steinkohlenperiode, sind die Palmenwälder und das Megatherion Sibiriens und viele andere Erscheinungen zu erklären, die man vergebens in eine astronomische Beziehung zu bringen sich bemüht hat.

Die große Achse, oder die Apsidenlinie, ist das wichtigste Element der Erdbahn; wenn auch diese letztere, vermöge der Einwirkung der Planeten auf die Erde, einer beständigen, obgleich außerordentlich langsam vor sich gehenden Veränderung unterworfen ist, so bleibt doch die große Achse unverändert. Dieser Satz beruht auf einem Beweise, der für alle Planeten gilt. Kennt man nämlich die Geschwindigkeit eines Planeten in irgend einem Puncte seiner Bahn, und die Entfernung dieses Punctes von der Sonne, so ist hiermit, nach dem Gesetz der elliptischen Bewegung, auch die große Achse der Bahn gegeben, welche weiter nichts ist, als das mittlere Ergebniß der verschiedenen Radienvectoren. Die Richtung, in welcher sich der Planet in jenem Augenblick bewegt, entscheidet hierbei nichts, sie hat zwar Einfluß auf die Excentricität und die Lage der Ellipse im Raume, aber nicht auf ihre Länge. Wenn wir nun einen unendlich kleinen Bogen, den ein Planet auf seiner Bahn um die Sonne unter der vereinigten Wirkung der Anziehung der letzteren und der störenden Kraft eines anderen Planeten beschreibt, betrachten, so werden wir finden, daß dieser Bogen eine gewisse Krümmung und Richtung hat, er kann also als ein Bogen, der einer gewissen, um die Sonne als Brennpunct beschriebenen Ellipse angehört, angesehen werden, und zwar aus dem geometrischen Grunde, daß, welches auch die Richtung und Krümmung des Bogens sei, stets eine Ellipse bestimmt werden kann, deren einer Brennpunct die Sonne ist, und die mit dem unendlich klein angenommenen Bogen seiner ganzen Länge nach genau zusammenfällt. Es folgt indessen nicht, daß die für diesen Augenblick bestimmte Ellipse die nämlichen Elemente haben müsse, wie diejenige, die auf gleiche Weise aus dem Bogen erhalten wird, welchen der Planet im vorhergehenden oder nachfolgenden Augenblick beschreibt. Allerdings würde dies ohne die störende Kraft der Fall sein; allein ihre Wirkung modificirt die Elemente von einem Augenblick zum anderen und die so bestimmte Ellipse befindet sich in einem Zustande beständiger Veränderung. Wenn nun der Planet das Ende jenes kleinen Bogens erreicht hat, so hängt die Beantwortung der

Frage, ob derselbe im nächstfolgenden Augenblick einen Bogen von einer Ellipse beschreiben wird, welche die nämliche oder eine veränderte große Achse besitzt, nicht von der neuen Richtung ab, die ihm durch die auf ihn wirkenden Kräfte ertheilt wird (weil die Achse von dieser Richtung unabhängig ist), auch nicht von der Veränderung der Entfernung des Planeten von der Sonne, während er den vorigen Bogen beschrieb (weil die Elemente der Ellipse diesem ganzen Bogen angepaßt sind, so daß ein und dieselbe Achse sowohl der Entfernung am Anfang, als derjenigen am Ende des Bogens zugehört), sondern einzig und allein davon, ob durch die Wirkung der störenden Kraft die Geschwindigkeit des Planeten eine Aenderung erlitten hat, die sich mit dem Fortbestand der nämlichen Achse nicht verträgt. Denn nur die störende Kraft, nicht die Centralkraft im Brennpuncte, kann dem Planeten eine solche Veränderung seiner Geschwindigkeit ertheilen, die mit dem Fortbestande irgend einer Ellipse, in welcher sich derselbe in jedem Augenblicke frei um diesen Brennpunct zu bewegen vermag, unverträglich ist. Von dieser störenden Kraft allein also, und von der durch sie bewirkten Abweichung der wirklichen Geschwindigkeit des Planeten von derjenigen, die nach den Gesetzen der elliptischen Bewegung stattfinden sollte, ist die momentane Veränderung der großen Achse abhängig, ohne alle Rücksicht auf die Aenderungen, welche die nämliche Kraft in den anderen Elementen verursacht hat, insofern durch sie nicht die Geschwindigkeit modificirt wird. — Die weitere genaue Ausmittelung der hervorgebrachten Wirkung ist nun Sache der Rechnung, deren Resultat ist, daß die periodische Natur und die endliche Ausgleichung aller auf diese Art sich ergebender Veränderungen der großen Achse bewiesen wird. Denn welche Geschwindigkeit bei dem einen Planeten durch die störende Wirkung des anderen, in irgend einer gegenseitigen Stellung derselben, erzeugt werden mag, diese wird unfehlbar durch die in einer anderen Stellung hervorgebrachte, blos in Folge des Wechsels der Configurationen, wieder hergestellt. Laplace und Poisson, die diese subtile Rechnung ausführten, fanden, daß (wenn wir an die Stelle irgend eines Planeten die Erde setzen) die Summe der sämmtlichen seculären Veränderungen der großen Achse der Erdbahn gleich Null ward, und daß diese Nullgleichung, diese Constanz der halben großen Achse ein allgemein nothwendiges Ergebniß des Newton'schen Gesetzes sei, wobei natürlich vorausgesetzt wird, daß die Masse der Erde selbst, wie überhaupt jedes anderen Planeten, constant bleibe, wie es der Natur der Sache nach sein muß. Man sieht übrigens

ohne Zweifel leicht ein, wie wichtig die Constanz der großen Achse der Planeten für die Fortdauer des Sonnensystems selbst ist. Berücksichtigen wir in dieser Beziehung nur die beiden Planeten Jupiter und Saturn, welche im Sonnensystem die beiden dem Centralkörper am nächsten kommenden Hauptmassen bilden. Wenn gleich jener nur $^1/_{1047}$ und dieser $^1/_{3500}$ der Sonnenmasse hat, so überwiegen sie doch auch so noch die meisten anderen Planeten ebenso sehr, als sie selbst von der Sonne überwogen werden. Ihre gegenseitige Wirkung auf einander muß also nicht allein die verhältnißmäßig stärkste, sondern sie müßte auch, was den Bestand des ganzen Systems betrifft, die bedenklichste von allen sein, wenn im Laufe der Zeit eine Veränderung ihrer großen Achse, also ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne, eintreten sollte.

Weil die Umlaufszeit eines jeden Planeten in seiner Bahn um die Sonne lediglich von den Massen der Sonne und des Planeten und von der großen Achse der Bahn des letzteren abhängig ist, und weder die Excentricität noch irgend ein anderes Element der Bahn auf dieselbe einen Einfluß hat; so folgt, daß die mittlere siderische Umlaufszeit der Erde, sowie sie sich nach einem mittleren Durchschnitte aus einer Anzahl von Umläufen ergibt, stets unveränderlich ist (40). Wenn wir z. B. die Länge des Sternjahrs gegenwärtig aus Beobachtungen folgerten, die etwa einen Zeitraum von tausend Umläufen der Erde um die Sonne umfaßten, so würden wir das nämliche Resultat erhalten, wie wenn uns zu dieser Bestimmung eine ähnliche Reihe von Beobachtungen zu Gebot stände, die schon vor einer Million von Jahren angestellt worden wären.

Nach der großen Achse ist die Excentricität der Bahn das wichtigste Element. Könnte diese ohne Aufhören ins Unermeßliche fortwachsen, so würde, selbst bei unveränderter mittlerer Entfernung von der Sonne, wenn auch nicht gerade das selbständige Dasein, doch der bestehende Zustand eines Planeten wahrscheinlich gefährdet werden. Die Excentricität der Erdbahn ist schon seit den frühesten Zeiten her beständig im Abnehmen begriffen, und es läßt sich nicht bezweifeln, daß diese Abnahme bis zu einer gewissen Grenze fortdauern wird, worauf sie wieder bis zu einem gewissen Aeußersten zunimmt, um alsdann abermals abzunehmen. Die Berechnung der Dauer dieser seculären Zu- und Abnahme hat gezeigt, daß dieselbe nicht durch Jahrhunderte und Jahrtausende ausgedrückt werden kann; „sie umfaßt einen Zeitraum, in welchem die ganze Geschichte der Astronomie und

des Menschengeschlechts gewissermaßen nur einen Punct einnimmt." Wir besitzen daher zur Messung dieser Störung kein anderes Mittel, als die Rechnung. Denn die Kenntniß der Dimensionen der Erdbahn beruht auf Beobachtungen, die an ihr in ihrem wirklichen Zustande, und mithin unter dem Einfluß des beständigen Theils der Störung durch die Planeten, angestellt werden, so daß folglich in der Beobachtung der volle Betrag dieses Einflusses mit inbegriffen ist, welcher sich mit der directen Wirkung der Sonnenattraction vermischt. Die Kenntniß indessen, welche die Astronomen von den Massen der Planeten gewonnen haben, gibt ihnen ein Mittel an die Hand, den störenden Einfluß derselben auf die Excentricität zu berechnen.

Die durch die Planeten verursachten Veränderungen in den Excentricitäten der Planetenbahnen lassen sich einigermaßen veranschaulichen, und indem ich hierbei großentheils John Herschel folge, bemerke man, daß unter der störenden Kraft diejenige Kraft verstanden ist, welche den Planeten beständig entweder der Sonne zu nähern oder von ihr zu entfernen strebt, d. h. also die Sonnenattraction zu vergrößern oder zu vermindern sucht. Zerlegt man Fig. 6, Taf. IX, die Kraft, welche M auf P allein äußert, nach der Richtung des Radiusvector PS und nach PK, die letztere parallel mit AM, so findet man in der Gesammtkraft, mit welcher M auf P störend einwirkt, keinen entsprechenden Theil mehr, durch den die nach der ersteren Richtung zerlegte Kraft aufgehoben werden könnte, und diese erscheint daher, ihrer vollen Wirkung nach, als eine störende Kraft, welche die Gravitation von P gegen S beständig zu vergrößern sucht. Außerdem haben wir aber noch eine andere Kraft, die ebenfalls in der Richtung des Radiusvector SP wirkt, und zwar diejenige, die aus dem Unterschied der Anziehungen von M auf S und P entspringt. Wird nämlich dieser Unterschied nach der Richtung PK, parallel mit SM, genommen, und dann nach den Richtungen PQ und PR, der Verlängerung von SP, zerlegt, so erhalten wir zwei Kräfte, von denen die erste, nach der Richtung PQ, die Tangentialkraft ist, und die zweite, senkrecht auf dieser, nach der Verlängerung des Radiusvector SP wirkt. Dieser letztere Theil der Wirkung von M strebt fast immer die Gravitation von P gegen S zu vermindern. Die Vereinigung jenes attractionvergrößernden und dieses attractionvermindernden Theiles gibt für eine jede gegebene Stellung von P und M die vollständige störende Kraft, welche, je nach der absoluten Größe ihrer beiden Theile, die Gravitation von P gegen S bald vermehrt, bald vermindert, und deren mittlere Wirkungen auf die Bahn des gestörten

Körpers nun in Betracht zu ziehen sind. Um die mittlere Wirkung des Körpers M in allen Lagen, die derselbe in Bezug auf den Körper P bei einer jeden Stellung desselben annehmen kann, zu bemessen, kann man sich vorstellen, daß die Masse von M auf dem ganzen Umfange seiner Bahn gleichmäßig vertheilt sei und dieselbe also die Form eines dünnen Ringes annehme. Wenn die Bahn von M ein Kreis und seine Bewegung gleichförmig ist, so ist einleuchtend, daß die auf P geäußerte mittlere störende Wirkung dieses Ringes in dem Unterschiede der Anziehungen bestehen wird, welche derselbe auf P und S ausübt, von denen S den Mittelpunct des Ringes einnimmt, P aber eine excentrische Lage in demselben hat. Nun ist die Anziehung einzelner gleicher Theile des Ringes auf seinen Mittelpunct offenbar in allen Richtungen die nämliche, es wird folglich die Anziehung des einen Theiles durch diejenige des gegenüberliegenden Theiles aufgehoben, und die Gesammtwirkung des Ringes auf seinen Mittelpunct ist demnach gleich Null. Dagegen wird die Gesammtanziehung des Ringes auf den Körper P, der innerhalb desselben eine excentrische Lage hat, vom Centrum weg, gerade gegen den P zunächst liegenden Theil des Ringes gerichtet sein. Wenn aber P außerhalb des Ringes läge, so würde die gesammte Anziehungskraft desselben beständig gegen das Centrum gerichtet sein, so daß sie P dem Mittelpunct des Ringes zu nähern sucht. Hieraus folgt für die mittlere Wirkung der störenden Kraft, wie sie aus einer großen Anzahl von Umläufen beider Körper hervorgeht, daß dieselbe eine verschiedene sein wird, je nachdem die Bahn des gestörten Körpers von derjenigen des störenden, oder diese von jener eingeschlossen wird. Im ersteren Fall wird durch sie die Gravitation nach dem Centralkörper vermindert, im letzteren vermehrt werden. Eine Vergrößerung der Centralkraft muß aber eine Zusammenziehung der Bahn eines mit bestimmter Geschwindigkeit umlaufenden Körpers zur Folge haben, und eine Verminderung der Centralkraft mit einer Erweiterung der Bahn verbunden sein; im ersteren Fall wird die Excentricität der Bahn größer, im letzteren kleiner.

Durch die störende Kraft wird also eine bleibende Aenderung von einem gewissen mittleren Betrage in den Dimensionen der Bahnen aller Körper, aus denen das Planetensystem besteht, hervorgebracht, welche nicht stattfinden würde, wenn jeder Planet um die Sonne liefe, ohne zugleich dem Einflusse der Attraction aller übrigen ausgesetzt zu sein. Aber dieses allgemeine mittlere Resultat wird bei den Planeten nicht ohne eine Reihe untergeordneter,

von der Ellipticität ihrer Bahnen herrührender Schwankungen erhalten, auf die oben der Einfachheit wegen keine Rücksicht genommen worden, und welche offenbar, nach einer größeren Menge von Umläufen, im mittleren Durchschnitte sich auszugleichen trachten. Und weil die großen Achsen und die Massen der Planeten constant sind, so zeigt die Rechnung, daß die Veränderung der Excentricität einer Planetenbahn diejenige einer anderen in entgegengesetztem Sinne zur Folge hat. Es schwanken also die Excentricitäten innerhalb gewisser Grenzen nach dem Princip der Gegenseitigkeit, so daß jeder Planet, der die Excentricität eines anderen vermehrt, eben dadurch seine eigene vermindert sieht. Wären aber im Sonnensystem die Massen weniger vortheilhaft vertheilt, als sie es sind, so dürfte die Befürchtung einer nicht blos störenden, sondern im Laufe der Zeit zerstörenden Wirkung gerechtfertigt erscheinen. Die beiden größten Planeten z. B., Jupiter und Saturn, haben mäßige Excentricitäten und übernehmen den bei weitem größten Theil der Störungen unter sich auszugleichen, während für die übrigen nur ein sehr geringer Theil bleibt — eine Folge der Stellung, die sie im Weltraum einnehmen. Wären die Excentricitäten Jupiters und Saturns sehr beträchtlich, so würde eine gleich starke Aenderung derselben eine viel stärkere bei den übrigen Planeten hervorbringen, während gegenwärtig diese Excentricitäten zu den schwächeren gehören und nur die der Erd- und Venusbahn übertreffen, hingegen von der aller anderen Planeten übertroffen werden. Oder wäre statt zweier großer Planeten deren nur einer vorhanden, so würde die Gesammtwirkung der Störungen desselben sich auf die übrigen vertheilen, während jetzt Saturn gleichsam ein Gegengewicht bildet, das den mächtigen Jupiter balancirt (22).

Wie die Bewegungen der Knoten und die Aenderungen der Neigungen der Planetenbahnen in einander verflochten und verwebt sind, so sind es auch die Veränderungen ihrer Excentricitäten. Eine jede von ihnen übt ihren Einfluß auf alle übrigen, und jede solche wechselseitige Einwirkung hat ihre eigene, besondere Ausgleichungsperiode, welche sich sodann bei allen übrigen Theilen des Systems wiederholt. Auf diese Art häufen sich Cyklen auf Cyklen, und um sich einen Begriff von der vereinigten Dauer derselben zu machen, braucht man nur die Dauer von einer solchen Periode bei Jupiter und Saturn zu betrachten. Läßt man den Einfluß der übrigen Planeten unberücksichtigt, so variirt, in Folge der alleinigen gegenseitigen Anziehung dieser beiden Weltkörper, die Excentricität der Jupitersbahn

zwischen den Grenzen 0,024 und 0,060 und die der Saturnsbahn zwischen den weiteren Grenzen 0,083 und 0,011, wobei die größte Excentricität der Jupitersbahn der kleinsten der Saturnsbahn entspricht und umgekehrt. Nun umfaßt die Periode dieser Veränderungen den großen Zeitraum von 70414 Jahren. Hiernach wird man leicht begreifen, daß viele Millionen Jahre erforderlich sein werden, um vollständig den vereinigten Cyklus auszufüllen, der das ganze Planetensystem, blos hinsichtlich der Excentricitäten der Bahnen, wieder in seinen ursprünglichen Zustand versetzt.

Die Planeten, welche störend auf die elliptische Erdbahn, oder deren Excentricität, einwirken, sind die Nachbarplaneten Venus und Mars (Mercur unmittelbar nur sehr wenig), und die entfernteren großen Planeten Jupiter und Saturn (Uranus direct kaum noch). Die Excentricität der Erdbahn ist gegenwärtig 0,016; sie war vor 2000 Jahren 0,017 und wird nach 2000 Jahren 0,015 betragen. Sie ist, wie man aus diesen Werthen sieht, gegenwärtig im Abnehmen begriffen, und zwar in einem Jahrhundert um etwa $^{42}/_{1000100}$ der halben großen Achse oder mittleren Entfernung, d. i. etwa 4 Meilen oder jährlich 440 Fuß. Nie kann sie das Doppelte ihres gegenwärtigen Werthes erreichen, ebenso wenig aber jemals verschwinden, die Erdbahn also niemals kreisförmig werden. Man berechnet, daß sie einerseits bis zu 150000 Meilen abnehmen, andererseits bis zu 750000 Meilen zunehmen kann. Die Periode zwischen diesen beiden Grenzwerthen wird zu 48000 Jahren berechnet; denn man vermuthet, daß die Excentricität der Erdbahn vor 13200 Jahren am größten war und in 35000 Jahren ihr Minimum erreichen wird.

Da die Schwankungen in der elliptischen Gestalt der Erdbahn nur zwischen enge Grenzen eingeschlossen sind, so können daraus keine bedeutenden Unterschiede in den Erwärmungsverhältnissen der Erde entspringen. Es könnte dies mit den Gesetzen der Verbreitung strahlender Wärme unvereinbar erscheinen, weil die mittlere Temperatur der Erdoberfläche, sowie die Extreme der Veränderungen, denen die Jahreszeiten auf derselben unterliegen können, von der Excentricität der Erdbahn abhangen, indem die großen Achsen der Bahnen unveränderlich sind. Es läßt sich leicht zeigen, daß die mittlere jährliche Menge von Licht und Wärme, welche ein Planet von der Sonne empfängt, unter übrigens gleichen Umständen, der kleinen Achse der Ellipse, die er beschreibt, proportional ist, und es wird folglich, da die kleine Achse von der Excentricität abhangt, jede Aenderung

der letzteren auch eine Veränderung der **mittleren** Temperatur der Oberfläche des Planeten zur Folge haben. Wir wissen, daß Wärme und Licht von der Sonne nach allen Richtungen gleichmäßig verbreitet werden, daß aber ihre Intensität im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Entfernungen sich ändert, so daß folglich die Erde in größerer Entfernung von der Sonne weniger Licht und Wärme empfängt, als wenn sie ihr näher ist. Wenn daher in dem unermeßlichen Cyklus, von dem oben die Rede war, der Unterschied von Sonnennähe und Sonnenferne auf Millionen von Meilen anwachsen könnte, während die mittlere Entfernung jährlich auf denselben Betrag zurückkäme; so wäre dies eine Veränderung, welche der physischen Beschaffenheit der Erde eine völlige Umgestaltung drohte, weil für den Wechsel in der Erwärmung und in der Dauer der Jahreszeiten sehr bedeutende Unterschiede eintreten müßten. Allein wir haben schon oben (40) gesehen, daß die gegenwärtige Excentricität der Erdbahn von etwa 700000 Meilen, wenn sie auch die nicht unbedeutende Differenz der Lichtstärke von $1/_{15}$ verursacht, doch von geringem Belang für die Temperaturverhältnisse der Erde ist, weil die Wärme, außer von der Intensität der Lichtstrahlen, noch von vielen anderen Bedingungen abhangt, und daher können die verhältnißmäßig geringen Aenderungen, denen die Excentricität unterworfen ist, die bestehenden Differenzen in den Wärmeverhältnissen der Erde nie bedeutend vergrößern, obgleich dadurch allerdings die Jahreszeiten verlängert und verkürzt werden müssen. Ueberdies sind die Wärmeunterschiede, welche aus dieser und anderen Störungen entspringen, allmälig und ordnen sich dem Einfluß herrschender Winde u. dgl. gänzlich unter, weshalb von kosmischer Seite keine umfassenden Veränderungen der Klimate zu erwarten sind.

Zwischen der Veränderung der Excentricität einer gestörten Planetenbahn und der Verrückung des **Periheliums**, oder der Veränderung in der **Lage der Apsidenlinie**, findet eine gegenseitige Abhängigkeit statt, ungefähr wie die Veränderung der Neigung und die Bewegung des Knotens mit einander in Verbindung stehen. Eilt die Erde, Fig. 7, Taf. IX, ihrem Perihel P zu, und wird die Schwerkraft, mit welcher sie gegen die Sonne gravitirt, durch eine störende Kraft **vermindert**, so wird ihre Bahn eine etwas geringere Krümmung annehmen, mithin von der vorigen elliptischen Gestalt abgelenkt werden, und wenn sie in P anlangt, noch nicht ihre größte Sonnennähe erreicht haben, sondern diese wird erst in einem weiter liegenden Puncte P′ eintreten. Die Lage der großen Achse ist also dadurch aus PSA

P'SA' übergegangen, und sie wird nicht ihre vorige Bahn, sondern die punctirt bezeichnete, einschlagen. Eine Vermehrung der Schwerkraft, wodurch die Bahn eine stärkere Krümmung erhielte, würde das Gegentheil zur Folge haben, die Erde erreichte dann früher das Perihel, und die große Achse hätte sich gleichfalls verschoben, aber in umgekehrtem Sinne. Die Veränderungen im Ort des Perihels heben sich nicht gegenseitig zu Null auf, vielmehr währt die Länge des Perihels der Erde fortwährend bei einem System von Körpern, die sich alle in gleichem Sinne bewegen, so daß die ganze Erdbahn, oder die Lage der Apsidenlinie, sich in einem großen Zeitraum um den Brennpunct, in welchem die Sonne steht, dreht. Indessen kommen in dieser Zunahme kleinere und größere Schwankungen vor, ebenso wie im Rückwärtsgehen der Knoten. Die Länge des Perihels der Erde nimmt während eines Sternjahrs um 11",8 zu und zwar in derselben westöstlichen Richtung, in welcher die Bewegung der Erde vor sich geht, indem die störende Kraft vermindernd auf die Sonnenanziehung wirkt. Soviel Zeit nun die Erde gebraucht, um jene 11",8, oder den 327. Theil eines Grades, zurückzulegen, um ebenso viel Zeit dauert die Wiederkehr zur Sonnenferne länger, als das Sternjahr, d. h. den 327. Theil eines Tages, oder etwa 4 Minuten Zeit. Da nun das tropische Jahr, welches die Wiederkehr der Jahreszeiten bringt, bereits 20' 23" kürzer ist, als das Sternjahr, so verspätet sich die Wiederkehr des Aphels in dem tropischen Jahre um 24' 23", was in fast 60 Jahren einen Tag ausmacht. Das Aphel fällt gegenwärtig auf den 1. Januar, demnach tritt es nach etwa 60 Jahren am 2. Januar zur selben Stunde ein, und wird auf solche Weise nach einem Zeitraum von mehr als 21000 Jahren, nachdem es der Reihe nach auf alle Tage des Jahres gefallen ist, wieder zum 1. Januar zurückkehren. Es ist begreiflich, daß mit den Zeitpuncten des Aphels und Perihels sich auch die Zeiten ändern, wo die wahre und mittlere Zeit zusammentrifft (28); allein diese Aenderung erfolgt so langsam, daß während einer Reihe von Jahren dieselben Angaben brauchbar sind, um aus den beobachteten Sonnenhöhen die mittleren Zeiten zum Richten der Uhren herzuleiten.

Die ganze Wirkung dieser Veränderlichkeit in der Lage der großen Bahnachse geht, wie man leicht einsieht, darauf hinaus, das Verhältniß, nach welchem jetzt die Sonne im Winter der nördlichen Erdhalbkugel uns näher steht, als in dem der südlichen (40), einst umzukehren. Jetzt sind

Herbst und Winter auf der Nordhalbkugel etwa 7 Tage kürzer, als Frühling und Sommer; nach etwa 5000 Jahren aber werden die Apsiden in die Zeit der Tag- und Nachtgleichen fallen, so daß auf beiden Halbkugeln Winter- und Sommerhalbjahr gleich lang dauert, und nach etwa 10500 Jahren, wenn sich die große Bahnachse um 180° gedreht hat, wird das Winterhalbjahr auf der Südhalbkugel um 7 Tage kürzer sein, als das Sommerhalbjahr. Dieser Wechsel wird allerdings nicht wirkungslos sein, aber ein Princip der gänzlichen Umgestaltung oder gar Zerstörung kann darin, bei der geringen Excentricität der Erdbahn, nicht gefunden werden. Zwar haben in neuerer Zeit Adhemar und Andere auf diese Veränderung der Apsiden eine Hypothese gebaut, welche eine solche Umgestaltung der Naturverhältnisse der Erde in Aussicht stellen würde. Die Argumentation ist folgende. Weil die Südhalbkugel durch die längere Dauer ihres Winters von 7 Tagen 168 Nachtstunden mehr hat, als die Nordhälfte, so wird sie durch Ausstrahlung mehr Wärme verlieren, sich stärker abkühlen, also eine niedrigere Temperatur haben, als die Nordhälfte, so lange sie in ihrer gegenwärtigen Stellung zur Erdbahn bleibt. In der That hat Kämtz die mittlere Temperatur des Nordpols annäherungsweise auf — $4^3/_5{}^0$ und die des Südpols auf — $9^1/_{15}{}^0$ R. bestimmt. Es wird sich daher während eines Winters am Südpol eine größere Eismasse bilden, als am Nordpol, und dieser Unterschied muß im Laufe der Jahrtausende bedeutend werden. Nun erstreckt sich in Wirklichkeit die Eismasse des südlichen Polarmeeres um 12° mehr nach dem Aequator, als die des nördlichen Polarmeeres, und die Dicke des Südpolareises muß in dem Verhältniß beträchtlicher sein, als die des Nordpolareises, in welchem die Meere um den Südpol tiefer sind, als um den Nordpol. Aus dieser Ungleichheit der Eismassen an den beiden Polen folgert nun Adhemar, daß auch das Gleichgewicht zwischen ihnen gestört und der Schwerpunct der Erde der größeren Masse genähert werde, so daß sich derselbe gegenwärtig südwärts vom Aequator befinde. Aus einer solchen Verrückung des Schwerpunctes folgt aber weiter, daß alle beweglichen Massen, besonders das Wasser des Meeres, an derselben participiren und sich dem Schwerpunct zuneigen werde. Dadurch muß auf der einen Seite mehr Land trocken gelegt, auf der anderen das Meer vertieft und das Land überfluthet werden. Aus dieser Ursache liegen gegenwärtig auf der Nordhälfte des Erdballs die großen Festlandmassen, welche sich alle in der Südhälfte zuspitzen, wo auch die Meere nach dem

Pole zu an Tiefe zunehmen. Bereits ist die Zahl der Tage, um welche unsere beiden warmen Jahreszeiten länger sind, als die beiden kalten, im Abnehmen, weil das Sommerhalbjahr der Nordkugel ums Jahr 1248 um acht Tage länger war, als das Winterhalbjahr. Es werden daher die Eismassen des Nordpols gegenwärtig im Zunehmen, die am Südpol im Abnehmen begriffen sein, und sobald die ersteren die letzteren übertreffen, wird der Schwerpunct des Erdballs wieder nordwärts vom Aequator fallen, was zur Folge haben muß, daß die Gewässer des Südpolarmeeres dem Norden zuströmen. Hiernach tritt also in 10000 Jahren eine große Fluth ein, welche die Gestalt der ganzen Erde wesentlich verändert, indem alsdann um den Nordpol sehr tiefe Meere, rings um den Südpol große Festländer liegen werden.

Diese Hypothese nimmt offenbar eine zu große Verrückung des Schwerpunctes der Erde durch überwiegende Eisbildung in dem einen oder anderen Polarmeere an, eine Verrückung, welche sich in der Lage der Erdachse zu erkennen geben müßte, und doch ist in der Periode genauerer astronomischer Beobachtungen keine derartige Veränderung des nördlichen Himmelspoles wahrgenommen worden, obgleich 2000 Jahre kein so geringer Bruchtheil in der Periode von 10000 Jahren sind. Die Hypothese erwartet ferner entschieden zu große Unterschiede in den Aenderungen der Apsiden, zudem kann dieser höchst allmälig erfolgende Vorgang niemals Ursache plötzlicher und besonders gewaltsamer Ueberfluthungen gewesen sein, oder jemals werden. Ueberhaupt ist sehr unwahrscheinlich, daß der gegenwärtig für die südliche Hemisphäre ungünstige Einfluß, welcher hauptsächlich auf dem Umstande beruht, daß die Nordhalbkugel die größeren, mehr Wärme strahlenden Landmassen besitzt, durch jene Drehung der großen Bahnachse soweit geändert werden könne, daß die im Norden vermehrte Eisbildung die bestehende Vertheilung von Wasser und Land gänzlich umgestalte. Dove, welcher thermometrische Beobachtungen in den verschiedenen Jahreszeiten an sehr vielen weit von einander entlegenen Puncten der Erdoberfläche mit einander verglichen, hat gefunden, daß die mittlere Temperatur der ganzen Erdoberfläche im Juni, also im Sommer der nördlichen Hemisphäre, beträchtlich höher ist, als im December, obgleich im Juni die Sonnenentfernung größer ist, als im December. Die mächtig wirkende Ursache dieser höheren Gesammttemperatur rührt lediglich von der größeren Landmasse der Nordhalbkugel her, die, wenn sie sich auf der Südhemisphäre befände, dort die

Eiszone auf eine ungefähr gleiche Breite beschränken würde, wie in dem nördlichen Polarmeere. Endlich hat man sich zu erinnern, daß der Theil der Erdbahn, in welchem unser Planet der Sonne am nächsten steht, immer zugleich der ist, durch den der Planet sich am schnellsten bewegt, wodurch der von der Drehung der Apsidenlinie befürchtete Temperaturunterschied im Ganzen verschwindet.

Der Mond.

Einige allgemeine Bemerkungen.

46. Die Erde erhält durch den Mond eine eigenthümliche Stellung im Planetensystem; denn mitten unter Weltkörpern, welche nahe gleich groß, gleich dicht, in den meisten physischen Beziehungen ihr ähnlich, aber mondlos sind, tritt sie durch ihren beständigen Begleiter aus der Reihe der einfachen Planeten heraus und in die gleiche Kategorie mit den vier größeren und entfernteren. Erde und Mond sind, analog den Doppelsternen, ein Doppelplanet, der sich aber von den mondbegleiteten größeren Planeten dadurch unterscheidet, daß bei ihm die Differenz der Massen und Durchmesser beider Weltkörper weit geringer ist, als bei den entfernteren Doppelplaneten. Der gemeinschaftliche Schwerpunct beider liegt 88mal weiter vom Mond als vom Erdmittelpunct und fällt daher noch in den Erdkörper selbst, jedoch seiner Oberfläche näher als seiner Mitte, während dieser Schwerpunct in den Systemen des Jupiter, Saturn u. s. w. sehr nahe mit den Mittelpuncten der Centralkörper zusammenfällt, daß der Astronom auch bei den schärfsten Bestimmungen diesen Unterschied ganz vernachlässigen kann. Da also sowohl die Erde als der Mond um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct laufen und dieser in einer Ellipse um die Sonne geht, so müßte bei Betrachtung der Bahn des Mondes um die Erde eigentlich der erwähnte Schwerpunct als

Centrum angesehen werden. Allein weil die beiden Bahnen der Erde und des Mondes einander durchaus ähnlich sind und dieselben Perioden haben, weil der Schwerpunct stets in gerader Linie zwischen den Mittelpuncten beider Körper liegt und das Verhältniß seines Abstandes von diesen constant ist; so betrachtet der Astronom die Erde als ruhend in Beziehung auf den Mond und überträgt beide Bewegungen auf die erstere.

So unbedeutend die Rolle ist, welche der an sich dunkle Mond im Sonnensystem zu vertreten hat, so hat er doch von jeher die Aufmerksamkeit und Beachtung auf sich gezogen, weil ein uns verhältnißmäßig so nahe stehender und durch so vielfache Wechselbeziehungen mit der Erde eng verbundener Körper das natürliche Verlangen erregen muß, ihn näher kennen zu lernen. Schon die ältesten Völker bestimmten die periodische Rückkehr seiner Phasen richtig, erklärten seine Verfinsterungen und bedienten sich seiner zur Bestimmung der Wetterbeobachtungen. Nächst der Sonne ist der Mond für uns der wichtigste Weltkörper; denn er erhellt nicht nur abwechselnd unsere Nächte, sondern er übt auch, wegen seiner Nähe, einen bedeutenden Einfluß auf die Präcession und das Schwanken der Erdachse, sowie auf Ebbe und Fluth der großen Wasser- und Luftmassen aus, die den Erdball bedecken und umgeben; ihm verdanken wir auch einen wichtigen Theil unserer Zeitrechnung, ebenso kann seine Einwirkung auf unsere Witterung und auf die Bewegung der Magnetnadel nicht mehr bezweifelt werden, wenn sie bisher auch nur dunkel erkannt worden ist.

„Das aschgraue Licht", sagt A. v. Humboldt, „in welchem ein Theil der Mondscheibe leuchtet, wenn einige Tage vor oder nach dem Neumonde sie nur eine schmale, von der Sonne erleuchtete Sichel darbietet, ist Erdenlicht im Monde, „der Widerschein eines Widerscheins". Je weniger der Mond für die Erde erleuchtet erscheint, desto mehr ist erleuchtend die Erde für den Mond. Unser Planet bescheint aber den Mond $13\frac{1}{2}$ mal stärker, als der Mond seinerseits ihn erleuchtet; und dieser Schein ist hell genug, um durch abermalige Reflexion von uns wahrgenommen zu werden. Das Fernrohr unterscheidet in dem aschgrauen Lichte die größeren Flecken und einzelne hellglänzende Puncte, Berggipfel in den Mondlandschaften, ja selbst dann noch einen grauen Schimmer, wenn die Scheibe schon etwas über die Hälfte erleuchtet ist. Zwischen den Wendekreisen und auf den hohen Bergebenen von Quito und Mexico werden diese Erscheinungen besonders auffallend. Seit Lambert und Schröter ist die Meinung herrschend geworden,

daß die so verschiedene Intensität des aschgrauen Lichtes des Mondes von dem stärkeren oder schwächeren Reflex des Sonnenlichtes herrührt, das auf die Erdkugel fällt: je nachdem dasselbe von zusammenhängenden Continentalmassen voll Sandwüsten, Grassteppen, tropischer Waldung und öden Felsbodens, oder von großen oceanischen Flächen zurückgeworfen ist." Der uns vorzugsweise zugekehrte, von der Sonne nicht bestrahlte Theil der Mondscheibe ist daher gleichsam ein Spiegel der Erde, in welchem wir erkennen können, ob die große Ländermasse der alten Welt, oder der atlantische Ocean mit dem schmaleren Amerika dem Monde zugekehrt ist, ob auf den nördlichen Ländermassen eben eine ausgedehnte Schneedecke liegt oder ob ein schattendes Grün sie überzieht, ob über ausgedehnten Theilen der Erdoberfläche dichte Wolkenschichten lagern oder ob die Atmosphäre darüber vollkommen diaphan ist. Das Erdenlicht erscheint im Monde, nach Schröter's Beobachtungen, wenigstens lebhafter im Herbste Morgens, als unter ganz ähnlichen Umständen im Frühling Abends. Im ersteren Falle stehen dem Monde die Landschaften Asiens und des östlichen Afrika gegenüber, im letzteren Fall dagegen der atlantische Ocean und einzelne Theile Amerika's, und aus der Naturbeschaffenheit dieser Gegenden ist leicht ersichtlich, daß die ersteren das Sonnenlicht stärker reflectiren als die letzteren. Lambert hat in einem lichtvollen Cometensucher am 14. Februar 1774 die interessante Beobachtung einer Veränderung des aschfarbenen Lichtes in eine olivengrüne, etwas ins Gelbe spielende Farbe gemacht. Da der Mond damals senkrecht über dem atlantischen Meere stand, erhielt er in seiner Nachtseite das grüne Erdenlicht, welches ihm bei wolkenfreiem Himmel die Waldgegenden von Südamerika zusendeten. Solch eine reiche Lichtquelle ist also die Sonne, daß noch der Widerschein eines Widerscheins (wiewohl letzterer schon viele Millionenmal geschwächt ist) nicht nur wahrgenommen werden kann, sondern daß derselbe auch die verschiedenartige Oberflächenbeschaffenheit der Erde widerspiegelt; ja man wird, wenn einst bessere lichtmessende Instrumente angewendet werden können, als die jetzigen, in dem Monde gleichsam den mittleren Zustand der Durchsichtigkeit unserer Atmosphäre lesen können.

Das von der Mondfläche reflectirte Sonnenlicht ist unter allen Zonen schwächer als das Sonnenlicht, welches bei Tage ein weißes Gewölk unserer Atmosphäre zurückwirft; daher es oft schwer ist, die Mondscheibe zwischen den lichtintensiveren Haufenwolken zu erkennen, während in beträchtlichen Höhen, bis zu welchen sich die dichten Haufenwolken nicht mehr erheben,

das Aufsuchen der Mondscheibe um vieles leichter ist, indem ihr Licht auf seinem Wege durch dünne Luftschichten minder geschwächt wird. Ueber das Verhältniß der Lichtstärke der Sonne zu der des Vollmondes sind sehr abweichende Bestimmungen vorhanden, indem Bouguer dasselbe zu $^1/_{300000}$, Wollaston zu $^1/_{800000}$ gefunden hat.

Beer und Mädler haben in ihrer Selenographie durch ein einfaches Schlußverfahren aus den astronomischen Verhältnissen des Mondes gezeigt, wie den Mondbewohnern der ganze Himmel erscheinen muß. Wird durch das Wort Tag die Zeit zwischen zwei nächsten Aufgängen der Sonne bezeichnet, so sind, wie wir später sehen werden, die Tage des Mondes $29^1/_2$ mal länger als unsere Tage, weil der Mondtag dem synodischen Monat, also der Zeit von 29,53 unserer Tage gleich ist. Die Seleniten sehen mithin die Sonne $14^3/_4$ unserer Tage über, und haben sie eben so lange unter dem Horizonte. Zur Zeit des Neumonds haben die Bewohner der Mitte der uns zugekehrten Mondhalbkugel eben Mitternacht und Vollerde, beim Vollmonde aber Mittag und Neuerde, während den Bewohnern des östlichen und westlichen Randes die Sonne eben auf- und untergeht. Auf diese Weise schreitet der Auf- und Untergang der Sonne auf der Mondoberfläche, während jedes unserer Tage, um $12^0\ 12'$ fort, und die Sonne sowohl, als auch der ganze gestirnte Himmel rückt durch seine tägliche Bewegung während jedes unserer Tage nur um denselben kleinen Bogen von Osten gegen Westen, während der Himmel sich für uns in derselben Zeit um volle 360^0 um die Erde zu drehen scheint. Allein bei dieser langsamen Umdrehung der Weltkörper gibt es einen, der daran gar keinen Theil nimmt, und in absoluter Ruhe zu stehen scheint, es ist unsere Erde, welche den Mondbewohnern viel größer erscheint, als die Sonne. Da nämlich der Mond der Erde immer dieselbe Seite zuwendet, und derjenige Punct seiner Oberfläche, welcher der Erde am nächsten steht, ihr auch immer am nächsten bleibt, so werden offenbar die Bewohner dieses Punctes die Erde stets in ihrem Zenith sehen, und alle diejenigen, welche in der Peripherie eines Kreises wohnen, dessen Pol jener der Erde nächste Punct ist und dessen Abstand 10, 20, 30 . . Grade von der Oberfläche des Mondes beträgt, werden die Erde immer um 10, 20, 30 . . Grade von ihrem Zenithe unverrückt am Himmel stehen sehen. Die Bewohner des Randes der uns zugekehrten Mondhalbkugel sehen dagegen die Erde immer in ihrem Horizonte. Während also Sonne, Planeten und Fixsterne für den Mond alle $14^3/_4$ unserer Tage

einmal auf- und untergehen, gibt es für das größte aller vom Monde aus sichtbaren Gestirne, für die Erde, weder Auf- noch Untergang. Doch findet diese Erscheinung nur für die Bewohner der diesseitigen Mondhalbkugel statt, die der anderen sehen die Erde nie. Es folgt hieraus, daß die Erde sämmtliche Nächte der uns zugekehrten Mondhemisphäre, und zwar ihrer ganzen Dauer nach, erleuchtet, also nicht wie bei uns, wo bloß zur Zeit des Vollmondes die ganze Nacht hindurch Mondschein ist. Uebrigens muß die Erde dem Monde, wie dieser uns, nothwendig ebenfalls Phasen darbieten, die seinen Bewohnern als Zeitmesser dienen können; denn zur Zeit des Neumondes, ersten Viertels, Vollmondes und letzten Viertels ist auf dem Monde in derselben Ordnung der Reihe nach Vollerde, letztes Erdviertel, Neuerde und erstes Erdviertel.

Auf der diesseitigen Mondhalbkugel kann eigentlich von keiner Nacht die Rede sein, weil auf derselben Sonnen- und Erdschein beständig mit einander abwechseln, und der letztere unsern Mondschein $13^1/_2$mal an Helligkeit übertrifft, auch durch Finsternisse nicht merklich geschwächt werden kann. Sehr wahrscheinlich bemerkt man daher hier von den schwächeren Fixsternen, Planeten und Cometen wenig oder gar nichts, so daß die Beobachtung auf die helleren Weltkörper beschränkt bleibt. Und da der Mond in Bezug auf die Sonne sehr nahe bei der Erde sich befindet, so ist leicht einzusehen, daß man vom Monde aus die Planeten sehr nahe bei eben denselben Sternen wird wahrnehmen müssen, bei welchen man sie von der Erde aus sieht. Bei Venus und Mars beträgt der Unterschied kaum 30′ und 24′ in Länge, kaum 2′ oder 3′ in Breite, und für die entfernteren Planeten ist dieser Unterschied noch weit geringer. Nur während der totalen Sonnenfinsterniß, deren Dauer für einen jeden einzelnen Mondort $2^1/_2$ — 3 Stunden sich erstrecken kann, ist ein ungehemmter Blick ins Universum gestattet; man sieht eine kurze Zeit hindurch Gegenstände erscheinen, von denen man Monate lang nichts gewußt hat. Für die jenseitige Mondhemisphäre fällt der Erdschein völlig weg, und insofern nicht etwa eine physische Dämmerung eintritt, ist der Wechsel von Tag und Nacht ein absoluter. Mit dem Verschwinden der Sonne ist dort jedes denkbare Hinderniß der Himmelsansicht weggeräumt, und 350 Stunden hindurch zeigen sich die Erscheinungen des Fixsternhimmels in ihrer ganzen Vollkommenheit, und gestatten die schärfsten astronomischen Beobachtungen, welche auf der Erde von den hellen Sommernächten, vom Mondschein, von der Dämmerung, von Nebel und Wolken so

oft gestört und bisweilen ganz unmöglich gemacht werden; auch werden dort alle Himmelsbeobachtungen schon deshalb sehr erleichtert, weil die Mondatmosphäre, wenn sie überhaupt existirt, viel reiner und dünner als die Erdatmosphäre ist. Beide Mondhalbkugeln aber genießen den Vortheil einer sehr langsamen täglichen Bewegung der Gestirne, so daß dort ein Beobachter die Gegenstände viel länger im Gesichtsfelde seines Fernrohrs behalten und folglich ruhiger und genauer beobachten kann; besonders wird die Erde oft mehrere Stunden, gleichsam wie angeheftet, im Fernrohr verbleiben. Diese Vortheile werden aber bis auf einen gewissen Grad wieder verkümmert, weil die Bewegungen des Mondes alle Himmelserscheinungen noch weit mehr verwickeln, als dies für uns durch die Bewegung der Erde geschieht, und daher weit mühsamere Rechnungen nöthig machen. Dagegen haben die Seleniten in geographischer Beziehung einen sehr großen Vortheil vor uns. Nicht allein ist ihnen die Rotation der Erde hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit sehr kenntlich, und wendet ihnen daher die Erde binnen 24 Stunden 50 Minuten alle ihre Meridiane zu; auch ihre Pole rücken zu Zeiten bis 28^0 vom Rande nach der Mitte der Erdscheibe hin, und die perspectivischen Verkürzungen derselben sind alsdann nicht größer, als die des Saturnringes, im Maximum seiner Oeffnung, für uns sind. Vom Monde aus erblickt man daher die landschaftlichen Prospecte unsers ganzen Erdkörpers fast unter allen Azimuthal- und Höhenwinkeln und unter den verschiedensten Beleuchtungen, und gelangt so zum Besitz einer sehr vollständig detaillirten Geographie. Könnte sich daher einer unserer Geographen eine Zeit lang auf den Mond versetzen, schnell würden von unseren Karten unsere terra incognita, die unbestimmten Küsten, die noch so häufigen Phantasiebilder von Gebirgen und Wasserzügen verschwinden, neue, noch ungesehene Inseln dem Ocean entsteigen; die Fragen über eine nordwestliche Durchfahrt, über das Vorhandensein polarer Continente u. a. m. wären mit einemmale gelöst.

Entfernung, Größe, Masse und Dichtigkeit des Mondes.

47. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde ist 51800 geogr. Meilen, und weil die Mondbahn, abgesehen von den Störungen, mäßig elliptisch ist, so ist die Entfernung verschieden; die größte beträgt 54600, die kleinste 48900 Meilen, was eine Excentricität von etwas über $^1/_{20}$ der mittleren Entfernung ergibt. Diese Entfernung, so groß sie auch an sich ist, macht doch nur wenig mehr aus, als den vierten Theil des Durchmessers des Sonnenkörpers, so daß letzterer fast zweimal die ganze Mondbahn in sich aufnehmen könnte.

Es ist früher (8), wo von den Entfernungen der Fixsterne die Rede war, mehr im Allgemeinen gezeigt worden, wie mit Hülfe der Parallaxe die Entfernung des Mondes von der Erde gefunden wird. Die Messung mittelst Beobachtungen, welche auf zwei von einander hinlänglich entfernten Sternwarten angestellt werden, hängt, wie wir wissen, von dem Umstande ab, daß der Mond in zwei verschiedenen Richtungen gesehen wird. Um den Unterschied dieser Richtungen zu bestimmen, mißt man mit Hülfe des Meridiankreises die Winkelabstände des Pols und des Mondes vom Zenith auf den beiden Sternwarten. Gesetzt, man fände auf der nördlichen Sternwarte bei G, Fig. 8, Taf. IX, auf der einen Seite den Pol 38⁰ vom Zenith, auf der anderen Seite den Mond 70⁰ vom Zenith entfernt, so ist, von G aus gesehen, der Mond $70 + 38 = 108^0$ vom Nordpol entfernt. Diese 108 Grade sind das Maß des Winkels PGM, wenn die Linie GP, verlängert gedacht, den Nordpol trifft. Auf der südlichen Sternwarte C bezieht man natürlich die gleichzeitigen Beobachtungen auf den Südpol. Fände man dort den Winkelabstand des Mondes vom Pol zu $73^1/_2$ Grad, so wäre dies das Maß des Winkels P′CM, wobei man annimmt, daß die nach dem Südpol gerichtete Linie CP′ in die Verlängerung von GP falle. Beobachtet man nun einen Stern S in unendlicher Entfernung, so ergeben sich folgende Beziehungen zwischen den beiden gemessenen Winkeln von 108^0 und $73^1/_2{}^0$. Weil der eine vom Nordpol und der andere vom Südpol gemessen worden, so muß die Summe beider Winkel 180^0 betragen, da GP und CP′ einander genau entgegengesetzt, und die beiden Richtungen nach dem gleichen Sterne, GS und CS, wegen der ungeheuren Entfernung des Sterns, genau parallel

sind. Nun aber beträgt die Summe der beiden gemessenen Winkel $108 + 73^1/_2 = 181^1/_2{}^0$, also $180^0 + 1^1/_2{}^0$. Dieser Winkel von $1^1/_2{}^0$ wird durch die beiden Linien GM und CM gebildet. Mit Hülfe dieses Winkels kann nun, wenn die Lage der beiden Sternwarten und die Richtung der Linien von denselben bekannt sind, die Entfernung des Mondes von der Erde berechnet werden. Weil aber in Folge der Lichtbrechung in jedem Theile des Himmels alle Gegenstände höher erscheinen, als sie wirklich sind, so macht dies eine Berichtigung nöthig; dennoch könnte für den Winkelabstand der Linien GM und GP, sowie CP′ und CM, ein Fehler von einer Secunde oder einem Bruchtheil einer Secunde verbleiben. Um diese Ungewißheit zu vermeiden, bedient man sich einer anderen Methode, und beobachtet auf den beiden Sternwarten nicht den Polabstand des Mondes, sondern bezieht den Ort des Mondes auf einen Stern. Man beobachtet den Mond, wenn er sich in der Richtung eines sehr entfernten Sternes S befindet, um den durch die Linien GM und CM gebildeten Winkel zu bestimmen. Bei G wird der Mond unter dem Stern gesehen; man hat also nur den Winkel SGM zu messen, wobei die durch die Lichtbrechung entstehende Ungewißheit nur sehr gering sein kann. Bei C wird der Mond mehr in der Richtung mit dem Stern gesehen, weshalb der Winkel SCM mit großer Genauigkeit gemessen werden kann. Der Winkel GMC ist der Unterschied zwischen den beiden Winkeln SGM und SCM. Gesetzt nun, es werde bei G der Mond 2^0 und bei C nur $^1/_2{}^0$ unter dem Stern gesehen, so muß der Unterschied oder der Winkel GMC $1^1/_2{}^0$ sein, und dieser Winkel ist kaum noch einem Fehler unterworfen. Man kennt nun den Winkel GMC und die Richtungen, welche die beiden Linien GM und CM, bezogen auf die Linie GC, verfolgen, weshalb die Rechnung fast dieselbe ist, wie die eines Dreiecks bei einer Vermessung, wo man die Berechnungen von einer gemessenen Basis ausgehen läßt. Das allgemeine Ergebniß der Rechnung ist eine etwa 30mal größere Entfernung des Mondes als der Durchmesser der Erde beträgt, oder $^1/_{400}$ der Entfernung von der Sonne. — Da der Mond in einer Ebene läuft, welche durch den Mittelpunct der Erde geht, so kann die Entfernung des Mondes auch aus Beobachtungen auf einer Sternwarte gefunden werden. Die Wirkung der Parallaxe ist stets die, daß sie den Gegenstand am Himmel niedriger erscheinen läßt. Würde der Mond vom Mittelpunct der Erde aus gesehen, so würde seine Bahn als ein großer, gegen den Aequator geneigter Kreis erscheinen, und wenn wir die Orte, in welchen er dem Nordpol des Himmels

am nächsten und von ihm am entferntesten ist, verglichen, so wäre der eine dieser Winkelabstände vom Nordpol um eben so viel kleiner als 90°, als der andere größer als 90° sein würde, und ihre Summe betrüge 180°. Allein in Folge der Parallaxe ist jeder dieser Winkelabstände, z. B. von G aus gesehen, vergrößert und darum ist ihre Summe größer als 180°. Wird daher der Betrag dieser Winkelabstände und ihrer Summe bestimmt, und ferner, um wie viel diese Summe 180° übersteigt, so haben wir die Summe der beiden Parallaxen. Hieraus findet man durch Rechnung die Entfernung des Mondes beinahe eben so, wie aus Beobachtungen von zwei Sternwarten aus. Schon Ptolemäus hat diese Methode zur Anwendung gebracht, weil er aber die Dimensionen der Erde nicht kannte, war er außer Stande, die Entfernung des Mondes durch ein unbedingtes Maß auszudrücken. — Zu demselben Ziele gelangt man endlich durch Beobachtung von Sternbedeckungen durch den Mond, aus denen sich noch außerdem sein scheinbarer Durchmesser sehr leicht und genau ableiten läßt.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde la Caille nach dem Cap der guten Hoffnung geschickt, um die zur Bestimmung der Mondentfernung erforderlichen Beobachtungen zu machen; auch wurden gleichzeitig Beobachtungen auf den Sternwarten zu Paris und zu Greenwich angestellt, um die besprochenen Winkel zu bestimmen. Vor einigen Jahren waren Henderson und Maclear, welche nach einander nach dem Cap geschickt wurden, zum Theil damit beschäftigt, Beobachtungen zu demselben Zweck anzustellen, und nach diesen und denjenigen, welche zu derselben Zeit zu Greenwich und Cambridge gemacht wurden, ist die Entfernung des Mondes von der Erde bestimmt worden.

Der scheinbare Durchmesser des Mondes in mittlerer Entfernung ist 31′ 8″, und kann sich bis zu 29′ 20″ und 33′ 30″ vermindern und vergrößern. Hieraus und aus der Entfernung des Mondmittelpunctes von irgend einem Puncte der Erdoberfläche ergibt sich der wahre Durchmesser des Mondes zu 454 geographischen Meilen, nahe $1/4$ des Erddurchmessers, so daß sein Umfang 1426 Meilen beträgt. Man kann den Durchmesser der Mondkugel mit einer Linie vergleichen, die man vom Nordcap Europa's bis zum Cap Matapan zieht; ihren Umfang mit Asiens Länge; ihre gesammte Oberfläche mit der von Amerika; den sichtbaren Theil derselben mit dem russischen Reiche. Wollte man sich den Gesammtinhalt der Mondkugel rings

um die Erde herum gleichförmig vertheilt denken, so würde er die Erdoberfläche etwa 6 Meilen hoch bedecken.

Dem Raume nach wird der Mond von der Erde $49^1/_3$ mal (nach Anderen 54 mal) übertroffen. Die Masse des Mondes aber steht zu der der Erde in einem ganz anderen Verhältniß als der körperliche Inhalt, denn sie ist nur $^1/_{87,73}$ (nach Anderen $^1/_{81}$) der Erdmasse. Die $49^1/_3$ Mondkugeln, welche zur Anfüllung eines der Erdkugel gleichen Raumes erforderlich wären, würden nur $\frac{49,3}{87,73}$ des Gewichts der Erde haben, welcher Bruch etwa $^3/_5$ beträgt. Die Dichtigkeit*) des Mondes ist also, mit der Erde im Ganzen verglichen, $^3/_5$, hingegen $3^2/_5$, wenn wir sie mit der des reinen Wassers vergleichen. Aus diesen Zahlen ergibt sich für den Mond ein Gewicht von 136000 Trillionen Pfund (35); ebenso läßt sich von ihnen eine Anwendung auf die Fallhöhe und überhaupt auf die für die Mondoberfläche stattfindende Schwere machen. Man findet sie nämlich sehr nahe $= {}^1/_6$ der Schwere an der Erdoberfläche. Die Fallhöhe in der ersten Secunde ist also dort nicht 15, sondern nur $2^1/_2$ Fuß, die Länge des Pendels nicht 3, sondern nur $^1/_2$ Fuß. Soll die Endgeschwindigkeit des Fallens auf beiden Weltkörpern gleich sein, so muß der Körper auf dem Monde aus einer 6 mal so großen Höhe herabfallen als auf der Erde. Ein Zentner, von der Erde auf den Mond versetzt, würde nur etwa 16 Pfund wiegen und nur soviel Kraft als diese zur Bewegung erfordern. Eine Höhe von 60 Fuß auf dem Monde ist um nichts bedenklicher, als eine von 10 Fuß auf der Erde; ein aufgeworfener Körper fliegt in demselben Verhältniß höher und weiter, und der Widerstand der Massen, soweit er nicht von der Cohäsion, sondern nur von der mechanischen Schwere abhängt, ist geringer als bei uns.

Die Astronomen haben die Masse des Mondes auf verschiedene Weise bestimmt. Erstlich aus der lunaren Präcession, die mit der lunaren Nutation (43), welche eine Ungleichheit der ersteren ist, in einem gewissen, aus der theoretischen Untersuchung bekannten Verhältniß zusammenhängt. Da man die Größe der Nutation beobachten kann, so ist man im Stande, dadurch daß man jenes Verhältniß rückwärts nimmt, die jährliche Größe der

*) Die Dichtigkeit eines Körpers steht im geraden Verhältniß zur Masse und im umgekehrten zum Volumen desselben.

lunaren Präcession zu berechnen. Man kann auch die ganze jährliche, sowohl durch Sonne als Mond hervorgebrachte Präcession beobachten und bringt man den Antheil des Mondes in Abzug, so bleibt der der Sonne zugehörige Theil übrig, und man erhält das Verhältniß der lunaren Präcession. Aus dem Verhältniß der lunaren zur solaren Präcession kann nun das Verhältniß der Mondmasse zur Sonnenmasse durch Rechnung gefunden werden. Man findet die Masse des Mondes zweitens dadurch, daß man die Ebbe und Fluth zu verschiedenen Zeiten vergleicht, indem man die Wirkung des Mondes, welche aus dem Unterschied seiner Anziehung auf verschiedene Theile der Erde erkannt wird, mit der der Sonne vergleicht, die aus einem ähnlichen Unterschied erkannt wird. Dieses Verhältniß der Wirkung beider Weltkörper findet man durch eine Vergleichung der Springfluthen mit den Nippfluthen (44). Nun werden Ebbe und Fluth nicht durch die ganze Anziehung der Sonne und des Mondes auf das Wasser, sondern durch den Unterschied zwischen ihrer Anziehung auf das Wasser und auf die Masse der Erde hervorgebracht, mittelst dessen der Mond (und in ähnlicher Weise die Sonne) das nächste Wasser von der Erde ab, und gleichsam die Erde von dem ihm entferntesten Wasser abzieht. Da nun die Fluthwirkungen von Sonne und Mond sich beinahe, aber nicht ganz, so wie der Unterschied ihrer Anziehungen verhalten; so ist es möglich, bei geeigneter Untersuchung, aus ihren Fluthwirkungen das Verhältniß ihres Unterschiedes in der Anziehung zu finden. Ist dies gefunden, so hat man ein Verhältniß von Unterschieden in der Anziehung erlangt, welche genau dieselben sind, wie die Unterschiede in der Anziehung zur Hervorbringung der Präcession; sind dann dazu noch die Abstände von Sonne und Mond bekannt, so kann man in derselben Weise die Verhältnisse der Massen von Sonne und Mond finden. Man ersieht aus dem Gesagten hinlänglich, worauf es bei der Bestimmung der Mondmasse ankommt, und es ist daher überflüssig, auch noch die anderen Methoden näher anzugeben, deren sich die Astronomen zu dem nämlichen Zwecke bedienen.

Die verschiedenen Bewegungen des Mondes.

48. Wie die Sonne durch das Uebergewicht ihrer Masse die schwache Anziehung der Erde erschöpft, so daß der gemeinschaftliche Schwerpunct beider Körper fast dicht am Mittelpunct des Sonnenkörpers ist, und die Erde dadurch genöthigt wird, sich in Jahresfrist um die Sonne zu bewegen; ebenso überwiegt die 88 mal größere Masse der Erde diejenige des Mondes und bewirkt, indem ihr gemeinschaftlicher Schwerpunct noch innerhalb der Erde fällt, daß bei der Bewegung beider Körper um denselben die Erde nicht merklich aus ihrer Stelle gerückt wird, während die Bewegung des Mondes sich zu einem monatlichen Umlauf um die Erde gestaltet. Dabei kommt der Mond, wenn er zwischen der Erde und Sonne steht, in untere Conjunction mit der Erde, und wenn die Erde zwischen ihm und der Sonne steht, in obere Conjunction mit ihr. In Folge der gegenseitigen Gravitation müssen aber die Erde und der Mond, während sie monatlich in ihren gegenseitigen Bahnen ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct umkreisen, zugleich auch mit einander vereint in einer größeren, jährlichen Bahn um die Sonne laufen. Denn gravitirte nicht der Mond, sondern die Erde allein gegen die Sonne, so würde sie fortgezogen werden und den Mond zurücklassen, und umgekehrt. Da aber die Sonne auf beide wirkt, so bleiben sie unter ihrer Anziehung bei einander, und es beschreibt daher, streng genommen, weder die Erde noch der Mond eine Ellipse um die Sonne, sondern ihr gemeinschaftlicher Schwerpunct.

Die Mondbahn würde eine vollkommene Ellipse sein, die in sich selbst zurückliefe und immer in einer und derselben Ebene läge, wenn der Mond bloß unter dem Einflusse der Schwerkraft der Erde um diese liefe. Allein der Mond zeigt bei seinem monatlichen Umlaufe allerlei Abweichungen von den Gesetzen einer rein elliptischen Bewegung, und darin liegt der Beweis, daß eine störende Kraft zugleich mit der Erde einwirkt. Diese störende Ursache ist die Anziehung der Sonne, oder vielmehr derjenige Theil derselben, der nicht in gleichem Maße auch auf die Erde ausgeübt wird. Läßt man zwei Steine neben einander zugleich fallen, so werden sie, wenn die Schwerkraft beide gleichmäßig beschleunigt, ihre relativen Lagen behalten und zusammen niederfallen, als ob sie nur eine Masse bildeten. Sobald

aber die Schwerkraft auf den einen stärker wirkt, als auf den anderen, so wird der eine in seinem Fallen mehr beschleunigt werden, und er muß den anderen allmälig verlassen. Es entsteht folglich aus diesem Unterschied, wie gering er auch sein möge, eine relative Bewegung zwischen den beiden Steinen. Der Mond umkreist die Erde in einer mittleren Entfernung von 51800 Meilen. Weil dies $^1/_{400}$ der Entfernung der Sonne von der Erde ist, so ist der Mond während seiner monatlichen Bahn um die Erde abwechselnd um $^1/_{400}$ der Sonne näher und um eben so viel von ihr entfernter als die Erde. Diese an sich kleine Veränderung ist doch hinreichend, um bei dem Monde, wenn er sich in der Stellung EMS der Sonne näher befindet, eine merklich größere Gravitation gegen die Sonne als bei der Erde hervorzubringen, und eine entsprechend kleinere, wenn er von ihr in der Stellung MES um den Durchmesser seiner Bahn entfernter ist; und in den Zwischenstellungen $\frac{M}{ES}$ und $\frac{E}{MS}$ wird nicht allein ein Unterschied der Kräfte selbst, sondern auch ein Unterschied ihrer Richtungen stattfinden, weil die Mondbahn, wie klein sie auch gegen die Entfernung der Sonne ist, doch keinen Punct ausmacht, und also auch die Linien, welche von der Sonne an ihre verschiedenen Theile gezogen werden, nicht als parallel zu betrachten sind. Damit sind vorläufig die Störungen angedeutet, welche durch den Unterschied der Sonnenattraction auf Erde und Mond in der Bahn des letzteren Weltkörpers bewirkt werden.

Es wurde vorhin die Bewegung des Mondes als eine doppelte bezeichnet, als eine monatliche um die als ruhend (46) gedachte Erde, und als eine jährliche in Verbindung mit der Erde um die Sonne. Diese letztere, die Bahn des Mondes im Sonnensystem, ist von der um die Erde zu unterscheiden. Denn während der Zeit, daß der Mond um die Erde geht, ist sie selbst in ihrer Bahn um die Sonne fortgerückt, und der Mond hat, in Bezug auf die Sonne, keinen Kreis, sondern eine Radlinie (Cycloide) beschrieben, deren Form durch das Verhältniß der beiderseitigen Geschwindigkeiten bestimmt wird. Wäre in Beziehung auf die Erde die lineare Fortrückung des Mondes größer als die der Erde in Bezug auf die Sonne, so entstände eine Cycloide mit Durchschlingungen. Weil aber die Erde in der Minute durchschnittlich 241 Meilen, der Mond nur etwa 8 Meilen fortrückt, so folgt hieraus, daß dieser in Beziehung auf die Sonne nie retrograd werden kann, und seine Cycloide nimmt die Gestalt von Fig. 9, Taf. IX an, in welcher u die Puncte der unteren, o die Puncte der

oberen Conjunction sind. Die kleinen, abwechselnd leeren und vollen Kreise bezeichnen den Ort der Erde in den verschiedenen Puncten ihrer Bahn, die den Hauptpuncten der Mondbahn entsprechen. Beziehen wir also die Bahn des Mondes bloß auf die Erde, so ist sie elliptisch, beziehen wir sie aber auf die Sonne, so wird sie eine cycloidische, um die Erdbahnellipse schlangenartig gewundene Bahn. Ebenso verhält es sich eigentlich auch mit der Erdbahn selbst. Sie ist eine Ellipse beziehungsweise zur Sonne; aber wenn wir die Fortbewegung der Sonne im Raume (10) berücksichtigen, so wird die Erdbahn selbst wieder eine wahrscheinlich schlangenförmige, um die Sonnenbahn gewundene, aber nicht näher bestimmbare Linie, die ihrerseits wiederum von der Mondbahn umschlängelt wird.

Eine dritte Bewegung des Mondes ist die Umdrehung um seine Achse, in einer Periode, die genau gleich ist seinem monatlichen siderischen Umlaufe. Diese große Langsamkeit der Rotation des Mondes ist der Grund, warum er auf seiner Umlaufsbahn um die Sonne Epicykeln beschreibt, in deren einem Brennpuncte die anziehende Erde sich befindet. Die Mondrotation erfolgt in einer Ebene, welche 1° 28′ 45″ gegen die Ekliptik geneigt und beinahe mit der eigenen Bahn des Mondes zusammenfallend ist. Dieser Werth ist unveränderlich, dagegen ist die Neigung des Mondäquators gegen seine eigene Bahn veränderlich, wie diese selbst, schwankt indeß zwischen engen Grenzen. Der niedersteigende Knoten des Mondäquators in der Ekliptik fällt stets mit dem aufsteigenden der Mondbahn in der Ekliptik zusammen, und diese drei Ebenen bilden also nur zwei gemeinschaftliche Durchschnittspuncte und haben eine Knotenlinie gemein, woraus folgt, daß derjenige Punct der Mondfläche, der einmal der Erde zugewendet ist, dies auch stets bleiben wird. Dieser Punct aber, dem der Mond stets dieselbe Seite zuwendet, ist nicht genau die Erdkugel selbst, sondern ein anderer Punct innerhalb der Bahn, der in der Nähe des zweiten Brennpunctes derselben, etwa 5700 Meilen von der Erde entfernt, liegt, und auch nicht ganz unveränderlich ist. Die Rotation des Mondes ist also nicht, wie die der Erde, eine von der Bahnbewegung unabhängige, freie, sondern an diese gebunden, wie wahrscheinlich die aller Nebenplaneten, und in Folge dieser gebundenen Rotation wendet uns der Mond beinahe immer dieselbe Seite zu, so daß $^3/_7$ seiner Oberfläche beständig und für immer unsichtbar, $^3/_7$ beständig sichtbar sind, und daß wir eine ringsumlaufende Randzone von etwa $^1/_7$ der Gesammtoberfläche abwechselnd in ihren einzelnen Theilen

sehen. Denn weil die Linie, welche den Mittelpunct der Erde und des Mondes verbindet, die Oberfläche des letzteren nicht immer an dem nämlichen Puncte schneidet, sondern von ihrem mittleren Durchschnitte derselben ein wenig nach Osten oder Westen hinschwankt, so können wir, bis auf einige Grade, um die Aequatorialtheile des sichtbaren Mondrandes je nach Umständen auf der östlichen oder westlichen Seite herumsehen. Das Mondbild zeigt also eine Schwankung (Libration), und zwar ist dies die Libration in Länge. Es sei, Fig. 10, Taf. IX, T die Erde, die in dem einen Brennpuncte der Mondbahn steht; auf der Oberfläche des Mondes, der sich im Puncte 1 befindet, sei a derjenige Punct, welcher der Erde gerade gegenüber steht und von ihr aus auf der Mitte der Scheibe gesehen wird. Hat der Mond den vierten Theil seines Umlaufes und seiner Rotation zurückgelegt, so steht er im Puncte 2 und der Punct a hat sich um $^1/_4$ des Umkreises der Mondkugel herumgedreht. Da aber der Winkel 1 T 2 um die volle Mittelpunctsgleichung größer als ein rechter ist, so trifft die Centrallinie der beiden Körper nicht den Punct a, sondern einen westlicher liegenden g, und ag ist jetzt die Libration. Rückt der Mond bis 3 fort, so ist ein halber Umlauf und gleichzeitig eine halbe Rotation des Punctes a vollendet, er steht also wieder der Erde gerade gegenüber und man hat keine Libration. In 4 endlich ist a um $^3/_4$ des Umkreises der Mondkugel, diese selbst aber noch nicht völlig um $^3/_4$ ihres Umlaufes fortgerückt, es erscheint daher jetzt ein von a aus östlich liegender Punct h auf der Mitte der Scheibe, und man hat eine der vorigen entgegengesetzte Libration ah. Diese Libration beträgt im Maximum 7° 53′ auf jeder Seite, und betrifft, wie man sieht, die Meridiane der Mondkugel, die von der Erde aus gesehen nach Osten und Westen gerückt werden. Weil aber ferner die Achse, um welche der Mond sich dreht, auf seiner Bahn nicht genau senkrecht steht, so werden auch seine Pole in geringer Entfernung vom nördlichen und südlichen Rande der Mondscheibe abwechselnd sichtbar. Wäre die Lage der Achse senkrecht, so blieben die Mondpole stets im Rande, weil dies aber nicht der Fall ist, so werden die Mondpole abwechselnd uns zu- und von uns abgewendet. Dadurch entsteht eine Libration in Breite, welche bis auf 6° 47′ geht. Die letztgenannte Schwankung ist eigentlich nicht der Mondkugel selbst zuzuschreiben, und würde für uns wegfallen, wenn die Mondachse streng senkrecht auf der Bahn stände. Etwas anders verhält es sich mit der Schwankung in Länge, deren Ursache in einer ursprünglich nicht ganz genauen Ueberein-

stimmung der Rotations- und Umlaufszeit zu suchen ist. Denn dieser Umstand bewirkt, daß nach jedem Umlauf nicht mehr genau dieselbe Seite des Mondes der Erde zugekehrt ist. Allein dem wirkt die Erdattraction stets wieder entgegen, indem sie eine Bewegung hervorbringt, welche jene kleine Abweichung vermindert. So schwankt also der Schwerpunct des Mondes wie ein Pendel innerhalb enger Grenzen etwas hin und her um die Centrallinie zwischen Erde und Mond. Es ist durch die ältesten Mondbeobachtungen erwiesen, daß derselbe seit 25000 Umläufen doch immer wieder in die alte Stellung zurückgekehrt ist und uns dieselbe Seite zeigt, die er schon den alexandrinischen Astronomen zugewendet hat, und die Berechnung hat dargethan, daß diese sich stets erneuernden Wirkungen auch stets sich wieder aufheben müssen, dergestalt, daß im Erfolg die Rotations- und Umlaufsbewegung einander vollkommen gleich bleiben.

Die Rotation des Mondes ist gleichförmig und nimmt weder an den elliptischen noch an den durch die Störungen erzeugten Ungleichheiten des Mondumlaufes Theil. Man hat nun die Frage aufgeworfen, ob dieselbe gleich Anfangs so beschaffen gewesen sei, wie wir sie jetzt finden. In Beziehung auf den Umstand, daß der Mond uns immer dieselbe Seite zuwendet, hat man eine Erklärung gegeben, die nicht auf directen Beobachtungen, sondern auf theoretischen Untersuchungen beruht. Daraus ergibt sich eine gegen die Erde hin gerichtete Verlängerung der Mondkugel, also eine Form, die derjenigen eines fallenden Tropfens vergleichbar ist. Der Mond zwar zeigt keine Spur von einer Abplattung und einer ringförmigen Anschwellung in seiner Aequatorialzone, wie die Erde, sondern er besitzt an der uns zugekehrten Seite mehr Masse, die jene Verlängerung hervorbringt, was mit der anziehenden Kraft der Erde in völliger Uebereinstimmung steht. Denn als Erde und Mond sich aus dem formlosen Chaos zu bilden anfingen, fügten sich die einzelnen Weltatome nicht völlig concentrisch um den anfänglichen Mondmittelpunct, sondern nach der Seite der Erde zu in etwas stärkerem Maße als nach der entgegengesetzten. Diese Seite ward sonach die schwerere, und wenn die auf solche Weise erzeugte Verlängerung der Mondkugel auch nur wenige hundert Fuß beträgt und direct nicht beobachtet werden kann, so verursacht sie doch ein Uebergewicht dieser Mondseite und eine Neigung, sich beständig der Erde zuzuwenden. Es ist indeß ebenfalls denkbar, daß Anfangs die Rotationsperiode des Mondes eine von der Umlaufsperiode verschiedene — nur nicht zu stark verschiedene — war, welche

aber nach und nach durch jene überwiegende Neigung der schwereren Mondhälfte zur Erde auf die jetzige zurückgebracht worden. In diesem Falle müßten Anfangs große physische Schwankungen stattgefunden haben, die aber allmälig, ähnlich wie die eines in starke Bewegung gesetzten Pendels, sich bis zum Unmerklichen verminderten, aber keineswegs ganz vernichtet werden konnten. Würde sie, wenn sie anders existiren, die Beobachtung entdecken, so könnte man, da ihre gegenwärtige Größe von der anfänglichen abhängen muß, auf diese zurückschließen, und man besäße an ihnen einen wichtigen Beitrag zur Geschichte der Entstehung des Sonnensystems.

Was indeß auch immer die Ursache dieses Zusammentreffens von Rotation und Umlauf in gleicher Periode sein möge, immerhin bleibt ihr Isochronismus eine sehr merkwürdige Eigenschaft des Mondes und der Satelliten überhaupt. Während die Hauptplaneten freie Rotationen in endloser, gleichmäßiger Fortdauer zeigen, unterscheiden sich die Monde von ihnen dadurch, daß ihre Rotationen erzwungene, gebundene sind, und dieser Zwang gestattet unstreitig einen, wenn auch nur schwachen Einblick in den ursprünglichen Zustand der Dinge. Bessel sagt hierüber: „Es ist sehr unwahrscheinlich, daß der bloße Zufall zwei Bewegungen, welche in jeder beliebigen Verschiedenheit neben einander bestehen könnten, innerhalb so enger Grenzen einander gleich gemacht haben sollte, daß sie durch die Wirkung der Anziehung völlig gleich werden mußten; es wird noch unwahrscheinlicher, da auch andere Monde unsers Planetensystems dieselbe Gleichheit beider Bewegungen zu besitzen scheinen, und der äußerste Saturnsmond sie gewiß besitzt. Bei den Planeten selbst findet nichts Aehnliches statt; die Erde dreht sich z. B. $366^1/_4$mal um ihre Achse, während sie einmal um die Sonne läuft. Die Erscheinung der Gleichheit beider Bewegungen bei den Monden der Planeten ist eine der Merkwürdigkeiten des Weltsystems, indem sie nicht die Folge eines allgemeinen Gesetzes ist, aber, durch ihr wirkliches Vorkommen, auf das Stattfinden primitiver, besonderer Bedingungen deutet, deren Vorhandensein eines der Daten ist, gegen welche jede genetische Erklärung des Weltsystems nicht verstoßen darf."

Die verschiedenen Umläufe des Mondes und die Störungen.

49. Wenn der Mond beträchtlich weiter von uns entfernt wäre, als wirklich der Fall ist, so würde die Anziehung der Erde zu schwach sein, um in der Bewegung des Mondes um die Sonne jene abwechselnde Beschleunigung und Verzögerung zu bewirken, die ihm den Charakter eines unabhängigen Planeten nimmt und seine Bewegungen denen der Erde unterwürfig macht. Es würde alsdann der eine der beiden Körper, bei ihren gemeinschaftlichen Umläufen um die Sonne, dem anderen, je nach den relativen Dimensionen ihrer heliocentrischen Bahnen, dem dritten Kepler'schen Gesetze gemäß, entweder vorlaufen, oder hinter ihm zurückbleiben, und der ganze Einfluß der Erde würde sich darauf beschränken, in der Bewegung des Mondes eine beträchtliche periodische Störung hervorzubringen, so oft er bei jedem synodischen Umlaufe vor der Erde oder sie vor ihm vorüberginge. Allein der Mond ist, wie wir gesehen haben, bloß etwa 60 Halbmesser der Erde vom Mittelpunct der letzteren entfernt; sein Abstand von seinem Anziehungsmittelpuncte ist deshalb, nach diesem Verhältniß gerechnet, weit geringer, als der Abstand der Planeten von dem ihrigen, indem Merkur, als der der Sonne nächste Planet, schon 84 Halbmesser der Sonne von deren Mittelpuncte entfernt ist. Wegen dieser Nähe bleibt der Mond als ein Trabant an die Erde gefesselt, um die er seinen Umlauf beschreiben muß.

Durch Beobachtung der scheinbaren Orte des Mondes am Himmel und durch Reduction derselben mittelst der Mondparallaxe auf den Mittelpunct der Erde, werden ihre wahren Winkelabstände bekannt, aus denen sich dann ergibt, daß die Bahn des Mondes, gleich derjenigen der Erde, eine Ellipse ist, nur von weit größerer Excentricität, indem sich letztere bis auf 0,05484 der mittleren Entfernung beläuft, und daß der Mittelpunct der Erde sich in dem einen Brennpuncte dieser Ellipse befindet. Die Ebene dieser Bahn ist gegen die der Ekliptik unter einem Winkel von 5° 8′ 49″ *geneigt*, und sie schneidet dieselbe in zwei einander gegenüberliegenden Puncten, welche die *Knoten* der Mondbahn heißen. Der *aufsteigende* Knoten ist derjenige, durch welchen der Mond von der südlichen Seite der Ekliptik auf die nördliche, und der *niedersteigende* derjenige, durch welchen er von der nördlichen Seite zur südlichen gelangt. Diejenigen Puncte der Bahn,

in welchen der Mond der Erde am nächsten und am entferntesten steht, heißen die Erdnähe (Perigäum) und die Erdferne (Apogäum) desselben, und die Linie, welche diese Puncte und die Erde mit einander verbindet, ist die Apsidenlinie. Weil die Bewegung des Mondes eine elliptische ist, so geht sie bald geschwinder, bald langsamer von Statten, wird aber niemals rückläufig.

Die Kenntniß des Mondumlaufes ist sehr alt; denn die für alle Lebensverhältnisse wichtigen, ja unentbehrlichen Perioden des Erd- und Mondlaufes waren Gegenstand der allerfrühesten Beobachtungen für alle Völker, weil sie, da sich an sie die Zeitrechnung knüpft, die Grundlage aller Verrichtungen und der historischen Ueberlieferungen sind. Im ganzen Alterthum und Mittelalter, bis auf die Zeiten des Copernicus, galt der Mond als ein die Erde umkreisender Planet; die Chaldäer, welche ihn für den kleinsten und der Erde am nächsten stehenden Planeten hielten, bestimmten die periodische Rückkehr seiner Phasen und erklärten seine Verfinsterungen richtig. Ihre Kenntniß ging zum Theil auf die Griechen über, welche die Ursache seines Lichtes kannten und auch Mondfinsternisse berechneten. Nach den Mondphasen versammelten sich alle Völker zu Festen oder Berathungen; z. B. die Lacedämonier rathschlagten, zogen in den Krieg und hielten mit großer Deisidämonie auf die Feier ihrer Karneien nur nach dem Neumonde, auch die Römer versammelten Senat und Curien darnach. Es ergibt sich daraus, daß man den Angaben der Alten, z. B. hinsichtlich der Finsternisse, alles Vertrauen schenken darf, so daß namentlich diese den Alterthumsforscher weit sicherer als irgend etwas Anderes durch das chronologische Dunkel der Vorzeit leiten.

Für die nähere Kenntniß des verwickelten Mondumlaufes wird es zweckmäßig sein, wenn wir uns zunächst mit den Elementen desselben mehr äußerlich, und erst hierauf mit dem ursachlichen Zusammenhange bekannt machen.

Der wahre oder siderische Umlauf des Mondes um die Erde dauert 27 Tage $7^h\ 43'\ 11'',5$. Nach Verlauf dieser Zeit steht der Mond, in Beziehung auf Länge, wieder bei demselben Fixsterne und hat also am Himmel 360^0 seines Laufes zurückgelegt. Hieraus läßt sich die tägliche, stündliche u. s. w. mittlere Bewegung des Mondes, sowie die Zeit berechnen, welche er gebraucht, um eine gegebene Anzahl von Graden zu durchlaufen.

Etwas verschieden hiervon ist, wie bei den Planeten, die Zeit, in welcher der Mond zu dem Puncte 0 der Länge, dem Frühlingsäquinoctium, zurückkehrt. Da die Nachtgleichenpuncte eine retrograde Bewegung haben (43), so ist der tropische Umlauf des Mondes etwas kürzer, nämlich 27 Tage 7^h 43′ 4″,7.

Die Zeit, in welcher der Mond zu derselben Conjunction zurückkehrt, oder zu dem Puncte, wo er mit Erde und Sonne eine gerade Linie bildet, ist der synodische Umlauf, welcher von dem wahren mehr abweicht als der tropische. Denn die Erde hat während dieser Zeit eine bedeutende Winkelbewegung gegen die Sonne gemacht, indem sie durch nahe 27° ihrer Bahn gegangen ist. Der Mond muß also, nach Vollendung eines siderischen Umlaufes, noch einen beträchtlichen Bogen zurücklegen, und braucht dazu im Mittel 2 Tage 5^h 0′ 50″,4, um in die so veränderte Richtungslinie zu gelangen. Die Erde stehe in T, Fig. 11, Taf. IX, der Mond in m, und die Sonne nach derselben Richtung hin. Der Mond mache einen siderischen Umlauf, während die Erde von T nach T′ rückt, so wird er in m′ stehen, wenn man T′m′ mit Tm parallel zieht, allein T′m′ ist jetzt nicht mehr die Richtung zur Sonne. Um diese zu erreichen, muß der Mond, während die Erde bis T″ fortläuft, in seiner Bahn den Bogen m′m″ zurücklegen, und dies wird sich bei jedem Umlauf wiederholen. Aus diesem Grunde ist der synodische Umlauf länger als der siderische, und seine mittlere Dauer beträgt 29 Tage 12^h 44′ 2″,9. — Aus dem beobachteten synodischen Umlaufe läßt sich der tropische ableiten, wenn man die Umlaufszeit der Erde um die Sonne kennt, und auf ganz ähnliche Weise ergibt sich aus dem tropischen Umlaufe der siderische, wenn man die Präcession der Nachtgleichen kennt.

Die drei genannten Perioden beziehen sich sämmtlich auf den mittleren Zustand, wie er für die gegenwärtige Zeit stattfindet; denn eine Menge von Ursachen tragen dazu bei, sie sämmtlich veränderlich und den Mondlauf zu einem äußerst verwickelten zu machen. Die erste dieser Ursachen ist die elliptische Form der Mondbahn, verbunden mit dem Umstande, daß der Ort des Perigäums sehr rasch veränderlich ist, indem er schon in 8 Jahren 310 Tagen 13^h 48′ 53″ um den ganzen Himmel herumläuft. Weil diese Bewegung eine directe, im Sinne der Mondbahn ist, so braucht der Mond längere Zeit, um sein Perigäum wieder zu erreichen, als er zur Vollendung eines siderischen Umlaufes gebraucht. Diese Periode, welche der anomalistische Umlauf heißt, beträgt 27 T. 13^h 18′ 37″,4.

Weil ferner die veränderliche Excentricität der Mondbahn 0,05484 der halben großen Achse beträgt, so folgt daraus, nach dem Ellipsengesetz, eine ungleiche Winkelbewegung des Mondes in seiner Bahn, und man findet seine Mittelpunctgleichung 6° 17′ 12″,7.

Die Neigung der Mondbahn endlich, welche 5° 8′ 49″ beträgt, ist gleichfalls veränderlich, indem sie bis 5° 0′ sinken und auf 5° 18′ steigen kann. Die Durchschnittspuncte der Mondbahn mit der Ekliptik sind nun aber einer raschen Veränderung unterworfen, und durchstreichen in nahe $18^2/_3$ Jahren rückläufig die Ekliptik rund herum. Der Mond braucht daher nicht volle 360° am Himmel zu durchlaufen, um wieder zum aufsteigenden Knoten zu gelangen, so daß diese Periode, die man den draconitischen Umlauf nennt, nur 27 T. 5^h 5′ 36″,0 währt.

Wir haben also für die verschiedenen Mondumläufe folgende Werthe erhalten:

Siderischer Umlauf	27 T. 7^h 43′ 11″,5
Tropischer "	27 T. 7^h 43′ 4″,7
Synodischer "	29 T. 12^h 44′ 2″,9
Anomalistischer "	27 T. 13^h 18′ 37″,4
Draconitischer "	27 T. 5^h 5′ 36″,0

Aber alle diese Werthe sind bloße Mittelwerthe und gelten nur für die gegenwärtige Zeit, weil sie Veränderungen unterworfen sind, welche jedoch Perioden von vielen Jahrtausenden umfassen. Diese Veränderungen sind indeß so klein, daß sie unmerklich bleiben würden, wenn man nicht Beobachtungen, welche aus dem babylonischen und griechischen Alterthum datiren, mit den jetzigen vergleichen könnte. Aus dieser Vergleichung geht hervor, daß obige Perioden früher sämmtlich etwas länger waren, daß somit die Umlaufszeit des Mondes jetzt kürzer ist als vor 2000 Jahren, und fortwährend kürzer wird, aber äußerst langsam. Daraus folgt nothwendig, daß zu den Zeiten der Alexandriner der Abstand des Mondes und seine Bahnweite etwas größer war als gegenwärtig. Allein der Unterschied ist sehr gering, und beträgt erst eine halbe Secunde, was einer Abnahme des Abstandes und der Bahnweite von 180 Fuß entspricht. Wenn daher der Mond in den nächsten Jahrtausenden noch etwas rascher als jetzt umlaufen wird, so darf man deshalb nicht befürchten, daß dies so fortgehen werde, und daß nach Millionen von Jahren der Mond auf die Erde stürzen möchte, denn wenn diese außerordentlich lange Periode ihr Ziel erreicht haben wird,

geht die Beschleunigung wieder in Verzögerung, die Annäherung in Entfernung über. Die Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung hat Laplace enthüllt, und Halley hat, indem er die ältesten, von den chaldäischen Astronomen beobachteten Mondfinsternisse mit denen in neuerer Zeit verglich, zuerst die Bemerkung gemacht, daß die Dauer des Mondumlaufes gegenwärtig merklich kürzer ist, als sie in jener entfernten Epoche war. Eine genügende Erklärung dieser Erscheinung, welche man die Säcularbeschleunigung der mittleren Bewegung des Mondes nennt, machte lange Zeit die größte Schwierigkeit, so daß Einige die Gravitationstheorie als dazu untauglich bezeichneten, Andere aber der Theorie zulieb die Thatsache selbst in Abrede stellten. Laplace's Scharfsinn löste das Räthsel, indem er die Säcularbeschleunigung des Mondes aus der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn ableitete. Wir wissen, daß die Ellipticität der Erdbahn vermöge der Einwirkung der Planeten einer beständigen, obgleich außerordentlich langsam vor sich gehenden Veränderung unterworfen ist (45), indem ihre Excentricität seit den frühesten Zeiten her in Abnahme sich befindet, die, wenn sie ihr Minimum erreicht hat, bis zu einer gewissen Grenze wieder zunehmen wird, um alsdann abermals abzunehmen. Die Erdbahn zeigt also eine abwechselnde Erweiterung und Zusammenziehung, welche aber in unermeßliche Perioden eingeschlossen ist. Da sonach eines der wesentlichsten Elemente der Erdbahn einer so langsamen Veränderung unterworfen ist, so kann von einer in eine kürzere Periode eingeschlossenen Ausgleichung der dadurch gestörten Mondbahn nicht die Rede sein. So lange die Excentricität der Erdbahn abnimmt, behält die Wirkung das Uebergewicht über die Gegenwirkung, und erst, wenn diese Abnahme aufhört, wird das umgekehrte Verhältniß eintreten und der Proceß endlicher Ausgleichung seinen Anfang nehmen. Bis dahin aber wird bei jeder genauen, oder genäherten Wiederkehr der nämlichen Configurationen der Erde, des Mondes und der Perigäen eine kleine unausgeglichene Wirkung übrig bleiben, und indem diese einzelnen unausgeglichenen Wirkungen sich anhäufen, modificiren sie allmälig die Umlaufszeit und mittlere Bewegung des Mondes. „Diese Erscheinung", sagt Herschel, „liefert uns ein treffendes Beispiel von der Fortpflanzung einer periodischen Veränderung in dem einen Theile eines Systems zu dem anderen. Die Planeten üben keinen directen, merklichen Einfluß auf die, von der Erde aus beobachteten Bewegungen des Mondes. Ihre Massen sind zu klein und ihre Entfernungen zu groß, als daß der Unterschied ihrer Anziehungen auf

den Mond und die Erde jemals merklich werden könnte. Dennoch wird der Einfluß, den sie auf die Bahn der Erde ausüben, auf die Bahn des Mondes übertragen; und was höchst merkwürdig ist, der Einfluß, den diese direct übertragene Wirkung der Planeten auf den Winkel äußert, welchen der Mond um die Erde beschreibt, ist für die Beobachtung weit merklicher, als derjenige, den die directe Wirkung auf den von der Erde um die Sonne beschriebenen Winkel ausübt." Die Säcularbeschleunigung des Mondes ist eine der merkwürdigsten und lehrreichsten, welche die Theorie der Störungen darbietet, indem sie ungleich mehr, als jede andere, geeignet ist, unsere Blicke weit in die Vergangenheit und Zukunft zu lenken, und auf unermeßliche Zeiträume hinaus die Veränderungen zu betrachten, welche unser Planetensystem bereits erfahren hat und noch ferner erfahren wird.

Die übrigen Störungen des Mondes sind unmittelbare Wirkungen der Sonne, welche auf Erde und Mond zugleich, aber nicht völlig gleich viel wirkt. Ohne diese Mitwirkung der Sonne zeigte der Lauf des Mondes, mit Ausnahme der Säcularstörung, keine Abweichungen, würde er um einige Stunden rascher als jetzt um die Erde gehen und ihr einige hundert Meilen näher rücken. Es fragt sich also, auf welche Weise die Sonne die allgemeine Quelle dieser Veränderungen werde. Wir haben bereits bei den Störungen der Erdbahn gesehen, daß die Bahnellipse eines Weltkörpers bei langsamerer Bewegung erweitert, bei rascherer verengert wird. Während nun die Sonne mit der vollen Kraft ihrer Anziehung Erde und Mond mit einander, oder vielmehr ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct, um sich herumführt, zieht sie abwechselnd bald den Mond, bald die Erde stärker an, je nachdem sie dem einen oder dem anderen beider Körper näher steht, vergrößert dadurch den Abstand zwischen ihnen, und verzögert somit die Bewegung des Mondes. Es stehe Erde, Sonne und Mond in gerader Linie, entweder in der Ordnung des Vollmondes SEM, oder in der Ordnung des Neumondes SME, so wird zur Zeit des Vollmondes die Erde stärker als der Mond, zur Zeit des Neumondes der Mond stärker als die Erde angezogen. Denn weil der Abstand des Mondes von der Erde $^1/_{400}$ des Erdabstandes von der Sonne beträgt, so wird der Neumond $^1/_{200}$ stärker von der Sonne angezogen, als die Erde, wogegen zur Zeit des Vollmondes die Erde eine um ebenso viel stärkere Anziehung von der Sonne erfährt, als der Mond. Dadurch wird in beiden Fällen die Distanz zwischen diesen Weltkörpern vergrößert und folglich die Kraft, mit welcher die Erde auf den Mond einwirkt,

vermindert, sowie die Bewegung des letzteren verlangsamert und seine Bahn erweitert. Bilden dagegen in den Mondvierteln Mond, Erde und Sonne einen rechten Winkel mit einander, so ist der Abstand von Erde und Mond von der Sonne fast gleich, und die Kraft selbst, mit welcher die Sonne sie anzieht, ist nicht verschieden; aber die Richtungen der Anziehungen machen jetzt einen stärkeren Winkel mit einander, und da zwei Körper sich einander nähern, wenn sie mit gleicher Stärke in verschiedenen Richtungen nach einem Puncte gezogen werden, so wird um die Zeit der Viertel die Bewegung des Mondes um die Erde beschleunigt und seine Bahn etwas verengert. Die hiermit im Allgemeinen erklärte, durch die Sonnenattraction bewirkte Störung des Mondes, welche schon von Ptolemäus bemerkt wurde und sich vorzugsweise in den vier Hauptpuncten der Mondbahn äußert, beträgt etwa einen Grad, und heißt die Evection (von evehere), weil die Ellipse der Mondbahn dabei gleichsam auseinander gezogen wird. Man sieht leicht ein, daß, wenn sich die Erde der Sonne in ihrer Bahn nähert, die störenden Kräfte der Sonne namhaft vergrößert und im entgegengesetzten Falle sehr vermindert werden. Es wird daher die Evection einer beständigen Schwankung unterliegen, indem dieselbe bald stärker, bald schwächer sein wird, je nachdem der Abstand der Erde von der Sonne geringer oder größer ist. Dies stimmt auch völlig mit der Erfahrung überein, indem der beobachtete Unterschied zwischen einer Evection im Januar (wenn die Erde im Perihel ist) und einer solchen im Juli (wo die Erde im Aphel steht) nicht weniger als etwa 35′ beträgt. Diese Verzögerung des Mondlaufs im Winter, im Gegensatz zu demselben im Juli, heißt die jährliche Gleichung, da ihre Periode nicht der Mondsumlauf, sondern das Jahr der Erde ist. Sie würde wegfallen, wenn die Erdbahn kreisförmig wäre, dagegen stärker hervortreten, wenn die Erdbahn eine größere Excentricität hätte.

Nicht halb so stark, als die Evection, ist die Variation, deren Entdeckung Tycho de Brahe gebührt, und die in der Geschichte der Mondstheorie dadurch merkwürdig geworden ist, daß sie die erste Ungleichheit war, die von Newton erklärt wurde. Sie entspringt direct aus demjenigen Theil der Störung, der von der abwechselnden Vergrößerung und Verkleinerung der Flächenräume, von dem Voll- und Neumond bis zu den Quadraturen und von diesen bis zu jenen, in Verbindung mit der elliptischen Gestalt der Bahn, herrührt, und besteht gleichfalls in einer abwechselnden Verlangsamerung und Beschleunigung des Laufs, macht sich aber am merklichsten in den so-

genannten Octanten, d. h. in den mittleren Puncten zwischen den Puncten der vier Hauptphasen, wo der Mond von Erde und Sonne in einem bald spitzen, bald stumpfen Winkel angezogen wird. Die Variation beträgt in ihrem Maximum etwa 37 Minuten.

Evection, jährliche Gleichung und Variation sind die bedeutendsten unter den periodischen Veränderungen, welche in die Umlaufszeiten von Erde und Mond eingegrenzt sind. Außerdem gibt es noch über 100 kleinere Ungleichheiten in der Bahn und Geschwindigkeit des Mondes; denn jede der größeren Ungleichheiten hat wieder Verschiedenheiten in der Anziehung zur Folge, woraus neue kleinere Abweichungen entstehen. Eine derselben ist die parallaktische Gleichung, die von der Größe der mittleren Sonnenentfernung von der Erde in der Art abhängt, daß ihr höchster Betrag der Sonnenparallaxe gleich ist. Ihre Ermittlung auf dem Wege directer Beobachtung kann also dazu dienen, die Sonnenparallaxe und folglich die Entfernung der Sonne zu bestimmen. Bis jetzt ist zwar die Uebereinstimmung der Mondbeobachtungen noch nicht so groß, um dem auf diese Weise erlangten Resultate gleiches Gewicht mit dem durch Beobachtung des Venusdurchganges ermittelten beizulegen, jedenfalls aber ist es wichtig, daß zwei auf gänzlich verschiedenem Wege erhaltene Werthe dieses wichtigen Elementes so nahe übereinstimmen. Die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt ist die Ursache anderer kleiner Störungen, aus welchen man eine Größe der Erdabplattung berechnet hat, die ebenfalls mit den aus Gradmessungen und Pendelbeobachtungen sehr nahe übereinstimmt. So steht in der Natur Alles mit einander im Zusammenhange und geht, in der ewigen Wechselwirkung der Dinge auf einander, eine Erscheinung aus der anderen hervor.

Es bleiben uns noch diejenigen Störungen des Mondlaufes übrig, durch welche die Bahnelemente selbst eine allmälige Veränderung erleiden. Aber während, wie wir früher (45) gesehen haben, bei der Erde und den Planeten überhaupt ungeheure Zeiträume vergehen, bis eine solche Störungsperiode abgelaufen und der ursprüngliche Zustand in Beziehung auf die gestörten Elemente sich hergestellt hat, haben diese Veränderungen beim Monde einen sehr raschen Verlauf, indem Jahre an die Stelle von Jahrtausenden treten. Das Vorrücken des Perigäums, oder die Veränderung in der Lage der Apsiden der Mondbahn, ist eine dieser Abweichungen. Wir haben bei den Störungen der Erdbahnelemente gesehen, daß, wenn eine der beiden Kräfte, durch deren Verhältniß die Form einer Planetenbahn bestimmt wird,

beziehungsweise zur anderen gestört, d. h. vermehrt oder vermindert wird, auch die Bahnellipse sich ändern müsse. Wird die Anziehungskraft vermindert, so nimmt die Krümmung der Bahn ab und der umlaufende Körper nähert sich seinem Centralkörper langsamer. Wird dagegen durch die störende Kraft die Attraction des Hauptkörpers vermehrt, so wird die Krümmung der Bahn größer, die Bewegung des umlaufenden Körpers rascher und derselbe wird sich früher seinem Centralkörper nähern. Im ersteren Fall wird der gestörte Körper, wenn er vom Punct seines kleinsten Abstandes an einen Bogen von 360° zurückgelegt hat, diesen kleinsten Abstand noch nicht wieder gewonnen haben, sondern noch einen gewissen Bogen, der von der Größe dieser Störung abhangt, zurücklegen müssen; im letzteren Falle hingegen wird er diesen kleinsten Abstand früher erreichen, ehe er 360° im Bogen zurückgelegt hat. Dort wird offenbar der Punct des kleinsten Abstandes vorwärts-, hier zurückschreiten. Wenden wir dies nun auf den Mond an, so haben wir bereits bei der Evection gesehen, daß in den Syzygien die Wirkung der Sonnenattraction darin besteht, die Schwerkraft der Erde zu vermindern, während in den Quadraturen die ganze Wirkung der störenden Kraft sich der Schwerkraft der Erde hinzugesellt, so daß dadurch die Bewegung des Mondes wechselsweise verzögert und beschleunigt wird. Allein aus allen diesen, bei den einzelnen Configurationen stattfindenden Wirkungen der störenden Kraft der Sonne geht im mittleren Durchschnitt eine Verminderung der Schwerkraft der Erde hervor, weil die störende Kraft nicht direct von der Entfernung allein, sondern von dieser und der Sonnenmasse zusammengenommen abhangt, wodurch die Schwerkraft der Erde nahezu im directen Verhältnisse der Entfernung des Mondes verändert wird. Dies hat nun nothwendig zur Folge, daß der Mond, vom Perigäum an gerechnet, eine zu geringe Krümmung annimmt, als daß dasselbe genau nach einem Laufe von 360° erfolgen könnte, der Mond gelangt also später zu seinem Perigäum, das mithin vorwärts rückt und damit nothwendig die ganze Apsidenlinie. Diese vollendet in nicht ganz 9 Jahren (8 Jahren 310 T. 13^h 48′ 53″) einen vollen Umlauf in ihrer Ebene, und zwar, wie aus Obigem erhellt, rechtläufig von Westen nach Osten, wie die Bewegung des Mondes selbst, so daß also das Perigäum des Mondes schon nach etwa $4^1/_2$ Jahren an der gerade entgegengesetzten Stelle von derjenigen statt hat, wo es vor dieser Zeit war.

Es bleibt noch die Veränderung der Durchschnittslinie (der Knoten) der Mondbahn mit der Ekliptik zu betrachten übrig. Der Mond

kehrt nämlich nicht genau in die nämliche Stellung unter den Fixsternen zurück, von welcher er ausging, und dies beweiset eine beständige Veränderung in der Lage der Ebene seiner Bahn. Denn verfolgt man durch Beobachtung von einem Monat zum anderen die Puncte, in welchen er die Ekliptik schneidet, so findet man, daß die Knoten seiner Bahn beständig auf der Ekliptik zurückweichen. Erinnern wir uns an die Erklärung der Präcession der Nachtgleichenpuncte, so werden wir diese Veränderung leicht verstehen. Die Bahn des Mondes ist gegen die Erdbahn um etwa 5° geneigt. Denken wir uns nun die Sonne in der Ebene der Ekliptik, so wird sie mit ihrem Massenübergewicht den Mond aus seiner geringen Erhebung über die Ekliptik herabzuziehen streben, und umgekehrt, und dadurch, nach Analogie der Präcession, einen früheren Knotendurchgang und damit die beständige rückläufige Bewegung der Knoten der Mondbahn auf dem Kreise der Ekliptik bewirken. Es könnte nun mit diesem Zurückweichen der Knoten scheinen, daß gleichzeitig auch die Neigung größer geworden sei. Bedenkt man indeß, daß nach dem Durchgang durch den Knoten das Herab- und Heranziehen zur Ekliptik den Winkel wieder verkleinern muß, so sieht man, daß die Wirkung auf den Neigungswinkel eine Ausgleichung erhält, und daher im Ganzen derselbe bleibt, während der Knoten seine rückgängige Bewegung nicht wieder compensirt. Die Bewegung der Knotenlinie vollendet ihre Periode in 18 Jahren 218 T. $21^h\ 22'\ 46''$. Wir wissen, daß hierin der Grund von der Nutation liegt, die sich ausgleicht, so oft der Mond an dieselbe Stelle der Ekliptik zurückkehrt.

In Obigem sind die hauptsächlichsten der störenden Wirkungen der Sonne auf den Mond, und zwar jede derselben für sich betrachtet worden; allein dieselben finden nicht isolirt neben einander, sondern gleichzeitig statt, und eine wirkt auf die andere zurück, so daß die verschiedenen Störungen sich gleichsam selbst wieder stören. Man begreift daher leicht, daß die Berechnung der verwickelten Mondbewegungen große Schwierigkeiten zu überwinden hat, und scharfsinnige Combinationen erfordert, um dabei keines der noch merklichen Glieder zu vernachlässigen.

Tages- und Jahreszeiten und Lichtgestalten des Mondes.

50. Es ist schon bemerkt worden (46), daß der Mond einen sehr langsamen Tag- und Nachtwechsel zeigt, indem die mittlere Dauer eines Mondtages und ebenso einer Mondnacht bei jedem synodischen Umlauf 354 Stunden 22 Minuten beträgt. Die von seinen Jahreszeiten abhangenden Ungleichheiten der Tage sind durchschnittlich 16 mal geringer, als auf unserer Erde; erst in 80^0 Breite hat der längste Tag 371, der kürzeste 337$^1/_2$ Stunden. In Folge der Ungleichheiten des Laufes können die einzelnen Mondtage 4 bis 5 Minuten länger oder kürzer werden. Wie mannigfaltig aber auch überhaupt diese Verschiedenheiten sind, ihr Gesammtbetrag ist immerhin geringer, als bei der Erde. Ueber 88$^1/_2{}^0$ Breite hinaus, wo Tag und Nacht noch alle Monate wechseln, treten die Eigenschaften der Polarzone auf. Weil aber die Sonne nie tiefer als 1$^1/_2{}^0$ unter, und nie höher als 1$^1/_2{}^0$ über den Horizont beider Pole sich erhebt, so haben schon sehr mäßige Höhen an den Mondpolen ununterbrochenen Sonnenschein, die entsprechenden Thäler aber weder Tag noch Nacht, sondern nur mehr oder minder helle Dämmerung, erzeugt durch den Reflex der umliegenden Höhen. Diese buchstäblich in ewigem Lichte erglänzenden Höhen erblickt man besonders schön und zahlreich am südlichen Horn die ganze Lunation hindurch als strahlende Lichtinseln, und nach Mädler genügt schon ein 15 — 20 mal vergrößerndes Handfernrohr, um sie bei sichelförmiger Gestalt des Mondes mit aller erwünschten Deutlichkeit wahrzunehmen. Ueberhaupt bekommen die Berggipfel des Mondes, auch in anderen als polaren Gegenden, den Sonnenschein 5, 10 und 30 Stunden früher, als die Thäler und Ebenen an ihrem Fuß, und da der Mond Berge von 9000 bis 20000 Fuß Höhe hat, so mögen viele ihrer Gipfel ein unserem Alpenglühen ähnliches Schauspiel darbieten. Dagegen bleibt das Innere der Ringgebirge (an denen der Mond reich ist) oft 100 Stunden lang noch beschattet, nachdem der Wall schon Sonnenlicht empfangen hat. Sehr viele Strecken erhalten sogar niemals directes Sonnenlicht, obgleich in unmittelbarer Nähe Alles davon beleuchtet ist. Etwas Aehnliches findet sich auf der Erde nur in sehr engen und tiefen Gebirgsschluchten, oder theilweise in Thälern, die von hohen Bergen eingeschlossen sind, wie z. B. im tessinischen Campothale, wo das Dorf Bosco 3 Monate lang im Winter des Sonnenscheins entbehrt. —

Aus derselben Ursache mit der geringen Verschiedenheit der Tage auf dem Monde rührt auch der geringe Spielraum her, den die Mittagshöhe der Sonne für einen gegebenen Mondsort hat, denn er beträgt nicht ganz 3⁰, während er für einen Ort der Erde 46⁰ 55′ ist. Deshalb sind auch alle Tage gleich hell und alle Nächte gleich dunkel. Wenn ferner, wie es sehr wahrscheinlich ist, der Mond nur eine äußerst verdünnte Atmosphäre hat, so kann er nur eine sehr kurz dauernde Dämmerung haben, und es muß dem Tage, beim Verschwinden des letzten Sonnenrandes, eine fast plötzlich eintretende Nacht folgen. Eben darum muß auch, vom Monde aus gesehen, der Taghimmel tief dunkel erscheinen, noch viel dunkler, als bei uns auf hohen Bergen.

Wie die Tageszeiten des Mondes, so haben auch dessen Jahreszeiten manches Sonderbare. Unsere Jahreszeiten hangen bekanntlich von der Schiefe der Ekliptik ab. Bei der geringen Schiefe des Mondes kann sich die Sonne nur um einige Grade nördlich oder südlich von seinem Aequator entfernen, woraus folgt, daß die Aequatorialgegenden die Sonne das ganze Jahr hindurch zur Mittagszeit immer sehr nahe im Zenith haben, während sie in den Polarzonen nahe am Horizonte steht. Von einem Wechsel der Jahreszeiten, wie bei uns, kann daher auf dem Monde keine Rede sein. Da übrigens Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch nahezu gleich lang sind, und die ungemein dünne Luft, wenn der Mond überhaupt eine solche hat, nur einer sehr geringen Erwärmung durch die Sonnenstrahlen fähig ist; so sind die Temperaturverhältnisse wahrscheinlich auf dem Monde sehr verschieden von denen auf der Erde. Wenn vielleicht die Gegenden um die Pole sich durch ungemeine Kälte auszeichnen, so wechseln in der Aequatorialzone in Folge einer zwei Wochen lang dauernden Gegenwart und Abwesenheit der Sonne sehr hohe und niedrige Temperaturen mit einander ab. Besitzt daher der Mond eine organische Schöpfung, so wird dieselbe schon deshalb von der unsrigen sehr verschieden, jedenfalls aber seinen eigenthümlichen Naturverhältnissen genau angepaßt sein.

Bekannt sind die L i c h t g e s t a l t e n oder P h a s e n des Mondes, welche daher rühren, daß die uns zugekehrte Halbkugel desselben während eines Umlaufs bald ganz oder theilweise, bald gar nicht erleuchtet wird. Steht der Mond zwischen Erde und Sonne, so kehrt er der Erde die unbeleuchtete Halbkugel zu und ist unsichtbar; zugleich muß er, da er mit der Sonne an derselben scheinbaren Stelle des Himmels sich befindet, gleichzeitig mit ihr culminiren, und auf- und untergehen. In dieser Stellung heißt er N e u-

mond, Fig. 1, Taf. X, a. Nach $2^{11}/_{24}$ Tagen steht er östlich oder links von der Sonne in b, nach $4^{11}/_{12}$ Tagen in c. In diesen Stellungen culminirt er um 2 und 4 Uhr, kehrt der Erde nicht mehr seine ganze dunkle Seite zu, sondern läßt auf seiner westlichen Seite schon einen Theil der beleuchteten Hälfte sehen, welcher wie eine Sichel gestaltet ist, die die hohle Seite von der Sonne abgewendet oder links hat. Der Mond muß jetzt, da er östlich von der Sonne steht, erst nach ihr aufgehen. In $7^3/_8$ Tagen ist er in d und hat den vierten Theil seines synodischen Umlaufes zurückgelegt. Dies ist die erste Quadratur oder das erste Viertel, in welchem er sowohl von der beleuchteten Seite rechts, als von der unbeleuchteten links die Hälfte uns zukehrt; und da er in dieser Stellung gerade 90° von der Sonne entfernt ist, so culminirt er um 6 Uhr Abends und geht nahe um Mittag auf. Nach $9^5/_6$ Tagen ist der Mond in e, nach $12^7/_{24}$ in f und nach $14^3/_4$ Tagen nach dem Neumonde in g. Hier ist seine von der Sonne beleuchtete Seite ganz der Erde zugewendet, und er zeigt sich als Vollmond, als eine ganze, kreisrunde Lichtscheibe. Da er jetzt der Sonne gerade gegenübersteht, so geht er auf, wenn sie untergeht, und umgekehrt, und culminirt nahe um 12 Uhr Mitternachts. Nach weiteren $2^{11}/_{24}$ Tagen steht er in h, nach $4^{11}/_{12}$ in i, und in $7^3/_8$, oder in $22^1/_8$ Tagen nach dem Neumonde in k, d. i. in der zweiten Quadratur oder im letzten Viertel, wo er links oder östlich die Hälfte seiner beleuchteten, und rechts oder westlich die Hälfte seiner dunkeln Seite zeigt. Er steht hier wieder 90° von der Sonne, und geht also sechs Stunden vor ihr, oder gegen Mitternacht auf, und culminirt etwa um 6 Uhr Morgens. Rückt der Mond von k aus nach l und m vor, so wird seine beleuchtete Seite immer mehr abgewendet und daher sichelförmig kleiner, wie bei m, deren Höhlung aber jetzt nach rechts hin oder westlich liegt. Die erleuchtete Sichel wird immer schmäler, bis sie in der Nähe der Sonne nur noch einem gekrümmten Faden gleicht, und gänzlich verschwindet, wenn der Mond wieder in a steht. Es ist alsdann ein synodischer Umlauf vollendet und ein neuer beginnt. — Neu- und Vollmond zusammen werden auch Syzygien genannt.

Der Mond rückt in jedem unserer Tage nahe $13^1/_2$ Grade am Himmel gegen Osten fort, und gelangt deshalb nach jeder Rotation der Erde nahe 50 Minuten später in den Meridian eines jeden Ortes, oder die Culmination des Mondes verspätet sich täglich um 50 Minuten. Daraus folgt aber nicht das Gleiche auch für seinen Aufgang. Denn

der Mond geht den nämlichen Weg am Himmel, den scheinbar die Sonne zurücklegt, bis auf den kleinen Unterschied von 5⁰, um welchen er von der Ekliptik abweicht. Er steht also als Neumond nahe bei der Sonne, im ersten Viertel nahe da, wo die Sonne nach drei Monaten, beim Vollmonde, wo sie nach 6 Monaten, und im letzten Viertel, wo sie nach 9 Monaten stehen wird, und beschreibt mithin in diesen verschiedenen Phasen zwischen seinem Auf- und Untergange fast den nämlichen Bogen am Himmel, auf welchem die Sonne nach den angegebenen Zwischenräumen ihren scheinbaren jährlichen Lauf am Himmel vollendet. Daher kommt es, daß der Mond im Herbstäquinoctium (der sogenannte Michaelismond) zwischen dem ersten und letzten Viertel eine so geringe Verspätung der Aufgangszeit zeigt, daß er um die Zeit des Vollmondes mehrere Tage hindurch fast zur nämlichen Zeit auf- und unterzugehen scheint. Zwar beschreibt sein erstes Viertel dann den niedrigen Bogen der Wintersonne am Himmel, leuchtet unter 50⁰ N. Br. nur etwa 8 Stunden und geht daher spät auf und früh unter; allein um beim Vollmonde auf den Weg der Sonne nach 6 Monaten, also im Frühlingsäquinoctium, zu gelangen, muß sein Aufgangspunct in der zwischen beiden Phasen liegenden Woche, mit jedem Tage mehr nach Osten fortschreiten, bis er im Vollmonde gerade im Osten auf- und im Westen untergeht, also 12 Stunden am Himmel verweilt, 4 Stunden länger, als im ersten Viertel. Er muß daher früher aufgehen, als es nach der Culminationsverspätung geschehen würde, und diese Beschleunigung des Aufgangs wächst zur Vollmondszeit bis über $1/_2$ Stunde, so daß für die wirkliche Verspätung des Aufgangs nur etwa $1/_4$ Stunde übrig bleibt. Beim letzten Viertel soll der Mond da aufgehen, wo die Sonne es nach 9 Monaten thut, also im Nordosten. Sein Aufgangspunct muß also auch in dieser Woche nördlich fortrücken, und seine Aufgangszeit sich noch immer, wiewohl allmälig, weniger verfrühen, bis er im letzten Viertel den Sommerweg der Sonne geht, und 16 Stunden über dem Horizonte steht. Dann aber weicht sein Aufgangsort wieder südlich zurück, und die Intervalle der Aufgangszeiten verlängern sich gegen den Neumond bis zu $1/_2$ Stunde über die Culminationsverspätung. Zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums ist die Sache natürlich umgekehrt. Im Sommer geht der Vollmond den Winterweg der Sonne, geht also im Südosten auf, niedrig durch den Meridian und im Südosten unter; im Winter hingegen sieht man ihn auf dem Sommerwege der Sonne, im Nordosten auf- und hoch über dem Himmel noch nach langem

Verweilen im Nordwesten niedergehen. In den beiden Solstitien geht das erste und das letzte Viertel auf dem Wege, den die Sonne in den Aequinoctien beschreibt.

Die Verspätung der Culmination nebst den übrigen astronomischen Verhältnissen des Mondes werden sehr bemerkbar bei der merkwürdigsten Wirkung seiner Anziehung auf die Erde, bei dem Wellenschlag der Ebbe und Fluth, wie oben (44) ausführlicher gezeigt worden ist.

Die Finsternisse.

51. Wenn die der Sonne zugekehrte Seite der Erd- und Mondkugel dadurch verdunkelt wird, daß der Mond oder die Erde zwischen die Sonne und einen der beiden Körper tritt, so entsteht eine Finsterniß; denn Erde und Mond, an sich dunkle und undurchsichtige Körper, werfen auf der von der Sonne abgewendeten Seite einen kegelförmigen Schatten hinter sich, dessen Gestalt und Größe von der des leuchtenden und beleuchteten Körpers, sowie von der Entfernung beider abhangt. Der Schattenkegel des Mondes hat eine wechselnde Länge von 51083 und 49376 Meilen. Die Länge des Erdschattens wechselt nach der Sonnennähe zwischen 182408 und 188640 Meilen, ist also beinahe um $3^1/_2$ mal länger, als die Entfernung des Mondes von der Erde, und die ganze Breite desselben an dem Orte, wo er von dem Monde durchschnitten wird, beträgt beinahe $2^2/_3$ Monddurchmesser.

Die Mondfinsternisse sind Verdunkelungen des Mondes durch die zwischen ihn und die Sonne tretende Erde, und können, wie sich von selbst versteht, nur statthaben, wenn alle drei Körper in einer geraden Linie stehen, also zur Zeit des Vollmondes. Wenn daher die Erd- und Mondbahn in ein und derselben Ebene lägen, so müßte sich bei jedem Vollmonde eine Mondfinsterniß ereignen. Allein beide Bahnen weichen um $5^0\ 8'\ 49''$ von einander ab (49), und wenn dieser Fall der größten Abweichung eintritt, wie Fig. 2, Taf. X veranschaulicht, so ist augenscheinlich keine Mondfinsterniß, und ebenso wenig eine Sonnenfinsterniß möglich; denn der Schattenkegel des Neumondes geht weit neben der Erde vorbei, und der Vollmond bleibt weit außerhalb des Erdschattens, indem schon die kurze Strecke seiner Bahn hinter der Erde über die Grenze ihres Schattens hinausgeht. Die meisten Mondumläufe sind daher ohne Finsternisse, und diese

finden nur statt, wenn der Mond in der Nähe der Ekliptik, d. h. wenn er seinen Knotenpuncten (49) nahe ist, mithin durchschnittlich 29 mal in 18 Jahren. In Folge eines sehr merkwürdigen Verhältnisses nämlich zwischen den Perioden, in welchen der synodische Umlauf des Mondes und derjenige seiner Knoten vollendet wird, kehren die Finsternisse nach einem gewissen Zeitraume sehr nahe in derselben Ordnung und in derselben Größe wieder. Denn man findet, daß 223 mittlere synodische Mondumläufe, oder sogenannte Lunationen, 6585,32 Tage, und 19 vollständige synodische Umläufe der Knoten (49) 6585,78 Tage betragen. Der Unterschied in der mittleren Lage des Knotens beim Anfang und Ende der 223 Lunationen ist demnach fast unmerklich, so daß alle Finsternisse nach Verlauf dieses Zeitraums wiederkehren müssen. Diese Periode von 223 mittleren synodischen Umläufen, oder 18 Jahren 11 Tagen, ist deshalb für die Berechnung der Finsternisse sehr wichtig. Man glaubt, daß sie schon den alten chaldäischen Astronomen bekannt war, welche sie Saros nannten, obgleich sie in neueren Zeiten mehr unter dem Namen der Halley'schen Periode bekannt ist. Uebrigens ist zu bemerken, daß Sonnenfinsternisse überhaupt für die ganze Erde häufiger als Mondfinsternisse sind, indem durchschnittlich binnen 18 Jahren 41 Sonnenfinsternisse sich ereignen, während im Verlauf der nämlichen Periode nur etwa 29 Mondfinsternisse vorfallen, was sich jedoch für einen bestimmten Erdort hinsichtlich der sichtbaren Sonnenfinsternisse umkehren kann.

Wenn der Mond beim Neu- und Volllichte gerade in den Knoten, also in der Ekliptik steht, so geht die gerade Linie durch die Mittelpuncte der drei Weltkörper, und die Finsterniß, die entsteht, ist eine centrale, Fig. 3, Taf. X. Centrale Mondfinsternisse sind stets totale, bei denen die ganze Scheibe des Mondes in den Schatten der Erde eintaucht. Weil auf dem Monde der scheinbare Durchmesser der Erde $3^1/_2$ mal so groß ist, als der Durchmesser der Sonne, so bleibt die Finsterniß noch total, wenn der Mond durch das nördliche und südliche Dritttheil des Schattenkegels der Erde geht, d. h. wenn er sich in derjenigen Nähe der Knoten befindet, welche die Grenze der totalen Mondfinsterniß ausmacht. Diese beträgt je nach der Entfernung der Erde von Mond und Sonne $3^1/_2$ bis $7^1/_2$ Grad. So lange der Mond noch nicht ganz in den Erdschatten eingetreten ist, wird sich der runde Umfang desselben auf der Mondscheibe darstellen; je tiefer er sich aber in ihn versenkt, desto kleiner wird auch sein noch erleuchteter Theil, bis er zuletzt ganz verschwindet, um nach

einiger Zeit an der andern Seite des Schattens allmälig wieder herauszutreten. Daß der Mond zuerst auf der linken Seite verfinstert wird und der Schattenumfang nach der rechten hinrückt, kommt daher, daß der Mond sich schneller als die Sonne unter den Sternen von Westen gegen Osten zu bewegen scheint. — Außerhalb der vorhin angegebenen Grenze der totalen Mondfinsternisse geht nur ein Theil des Mondes durch den Schattenkegel der Erde, und dann ist die Mondfinsterniß partial. Die Größe derselben gibt man nach Zwölftheilen des Monddurchmessers an, welche Zolle heißen. Die äußerste Grenze der partialen Mondfinsterniß liegt zwischen $7^4/_5$ und $13^1/_3$ Graden Abweichung des Mondes von den Knotenpuncten zur Zeit der Verfinsterung; weiter hinaus ist auch die kleinste partiale Verfinsterung nicht mehr möglich. Da nun der Mond durchschnittlich an jedem Tage etwa $13^1/_2$ Grad seiner Bahn zurücklegt, so ist keine partiale Mondfinsterniß mehr möglich, wenn er sich um einen ganzen, und keine totale, wenn er sich um einen halben Tag vor oder hinter seinen Knotenpuncten befindet; aber auch bei der Hälfte dieser Zeiten können beide aufhören.

Bekanntlich berechnet der Astronom alle einzelnen Umstände einer Mondfinsterniß voraus, indem er die Zeit des Anfangs, der Mitte und des Endes derselben bestimmt, ferner ob dieselbe partial oder total sein wird, in welchen Gegenden der Erde der Mond total verfinstert auf- und untergeht, welche Orte die Finsterniß zuallererst oder zuallerletzt sehen und wie groß dieselbe werden wird, wobei sie die Größe in Zollen ausdrücken. Weil nämlich jede Mondfinsterniß eine durch das Dazwischentreten der Erde verursachte Beraubung des Lichtes ist, das der Mond von der Sonne erhält, so sehen auch alle Bewohner der Erde, welchen der Mond so eben scheint, den Anfang, das Ende und überhaupt die einzelnen bestimmten Umstände der Finsterniß genau zu der nämlichen Zeit, wenn auch zu verschiedener Uhrzeit.

Begreiflich muß die Dauer einer centralen Mondfinsterniß, wobei der Mond mitten durch den Schatten der Erde geht, länger sein, als die der übrigen Finsternisse, welche nur ein Segment des Schattenkegels passiren. Die ersteren dauern als totale etwa 2 Stunden und sind dann noch eine Stunde vorher und nachher partial, so daß der ganze Verlauf vom Eintritte des Mondes in den Erdschatten bis zu seinem Austritte 4 Stunden 24 Minuten dauert; die längste Dauer einer blos partialen Mondfinsterniß beträgt dagegen nicht über 2 Stunden 18 Minuten. Uebrigens ist der kreisförmige,

aber beziehungsweise zur Mondscheibe viel flachere Rand des Erdschattens nie scharf begrenzt, sondern verwaschen, und man unterscheidet deshalb einen Halbschatten- und einen vollen oder Kernschattenkegel, welcher vom ersteren umhüllt ist und wegen der beträchtlichen Größe der Erde weit über den Mond hinausfällt. Ueberdies wird der verfinsterte Theil der Mondoberfläche in den meisten Fällen nicht ganz unsichtbar, sondern erscheint anfangs in einer grauen Farbe mit einem röthlichen Schimmer, der bei zunehmender Verfinsterung immer herrschender wird und zuletzt in Grauroth, oder Kupferroth, oder Rosenroth, zuweilen auch, wenn der Mond weit von der Erde entfernt ist, in glühendes Hochroth übergeht, wobei die Mondflecken deutlicher sind, als bei der partialen Verfinsterung. Die geröthete oder glühende Scheibe ist indeß nie gleichförmig farbig, indem einige Stellen sich immer dunkler und dabei fortschreitend farbeändernd zeigen. Nach Alex. v. Humboldt erscheint die rothe Mondscheibe viel leuchtender unter dem Tropenhimmel als in höheren Breiten. Diese Färbung ist eine Wirkung der Strahlenbrechung, da die Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre der Erde inflectirt und in den Schattenkegel geworfen werden. Zuweilen, aber in überaus seltenen Fällen, verschwindet bei totalen Mondfinsternissen der Mond gänzlich. Dies ereignete sich bei den Mondfinsternissen am 9. December 1601 und den 15. Juni 1620, welche Kepler beobachtet hat. Hevel versichert sogar, es sei am 25. April 1642, obschon der Himmel bei völlig heiterer Luft mit funkelnden Sternen bedeckt war, dennoch der total verfinsterte Mond in den verschiedensten Vergrößerungen, die er anwandte, spurlos verschwunden geblieben. Auch in neuerer Zeit, am 10. Juni 1816, beobachtete man in London, daß der Mond gänzlich verschwand, und nur erst kurz vor dem Aufhören der totalen Finsterniß einen nebligen Lichtschimmer zeigte, der dann bis zum Augenblicke, wo der halbe Mondrand hervortrat, stets zunahm. In anderen, ebenfalls sehr seltenen Fällen werden nur einzelne Theile des Mondes schwach sichtbar. Man nimmt als Ursache dieser so seltenen als sonderbaren Erscheinung einen eigenen, nicht genugsam ergründeten Diaphanitätszustand einzelner Schichten der Atmosphäre an.

Totale Mondfinsternisse werden in unserem Jahrhundert sich noch 11 mal ereignen, nämlich: 1870 am 17. Januar und 12. Juli; 1877 am 27. Februar und 23. August; 1880 den 16. December; 1884 den 4. October; 1888 den 28. Januar; 1891 am 23. Mai und 16. November 1898 den 27. December und 1899 den 17. December.

Interessanter noch, als die Mondfinsternisse, sind die Sonnenfinsternisse. Da sie dadurch entstehen, daß zur Zeit des Neulichtes der dunkle Mond zwischen die leuchtende Sonne und die nicht leuchtende Erde tritt und einem gewissen Erdstriche das Sonnenlicht entzieht, so ist die Erscheinung eigentlich eine Erdverfinsterung, weil für uns die Sonne durch den Mond bedeckt wird. Man sieht dabei, wie die Sonne durch die von der Rechten nach der Linken vor ihr vorbeirückende schwarze Mondscheibe allmälig verfinstert wird, deren Schatten allen von ihm nach und nach getroffenen Gegenständen den Anblick der Sonne raubt, und auf diese Weise eine Sonnenfinsterniß wahrnehmen läßt, während alle Erdgegenden, die nicht vom Mondschatten getroffen werden, die Sonne nicht vom Monde verdeckt und folglich auch keine Sonnenfinsterniß sehen. Der Mond geht also ähnlich, wie Mercur und Venus (17), nur freilich weit größer, durch die Sonne. Bei den Sonnenfinsternissen ist Manches anders, als bei den Mondfinsternissen. Vor Allem ist zu berücksichtigen, daß die totale Sonnenfinsterniß nur möglich ist, wenn der Mond fast genau in seinen Knotenpuncten steht, weil die scheinbaren Durchmesser von Sonne und Mond sich nahe gleich sind. Eine totale Sonnenfinsterniß ist also immer central. Weil aber zweitens die Sonne im Perigäum 6′ 10″ im Durchmesser größer erscheint, als der Mond im Apogäum, von diesem mithin nicht ganz bedeckt werden kann, so ist umgekehrt die centrale Finsterniß nicht immer eine totale, sondern oft eine ringförmige, wobei die Mittelpuncte beider Körper auf einander liegen, so daß rund herum ein schmaler Ring der Sonne unbedeckt bleibt. Dieser wird übrigens schmäler oder breiter sein, je nachdem die vorhin angeführten Ursachen mehr oder minder stattfinden. In seltenen Fällen kann die nämliche Finsterniß an einem Orte total, an einem andern nur ringförmig erscheinen. Ist aber der Mond im Perigäum und die Erde im Aphel, dann erscheint der Mond 5′ 54″ größer, als die Sonne, kann diese also nicht blos dann, sondern auch noch, wenn diese Ursachen in weit geringerem Grade vereinigt oder einzeln vorhanden sind, vollkommen bedecken, obgleich mit verschiedenem Ueberschusse, wovon die Stärke und Dauer der totalen Finsterniß abhangt. Doch kann eine solche an dem nämlichen Orte nie länger als 4 bis 5 Minuten dauern, zuweilen aber auch nur augenblicklich sein. Dadurch, daß die totale Sonnenfinsterniß nie über die ganze Erde verbreitet ist, sondern nur auf einem schmalen, nicht sehr langen Striche derselben stattfindet, unterscheidet sie sich von der

Mondfinsterniß. Der Schattenkegel des Mondes kann nämlich auch dann, wenn er die Erde erreicht, nur einen geringen Durchmesser haben, wie Fig. 4 zeigt, und auch für Aequatorialgegenden nie über 30 Meilen im Durchmesser betragen, für polare hingegen, wegen der Schiefe der Richtung, sich freilich bis zu 200 Meilen ausbreiten. Zuweilen aber auch ist der verdunkelte Fleck so klein, daß man auf großen freien Ebenen oder hohen Bergen den Schatten des Mondes deutlich herankommen und über die Erdoberfläche hineilen, und dann, von tiefem Dunkel rings umhüllt, entfernte Berge, Ortschaften u. s. w. in hellem Sonnenschein sehen kann. Der verdunkelte Fleck oder der Mondschatten zieht, wegen der Rotation der Erde, von Osten gegen Westen 4 bis 5 Stunden lang über einen Erdstrich von 60 bis 75 Graden des Parallelkreises fort, worauf der Mondschatten die Erde nicht mehr trifft. Man sieht hieraus, daß totale und ringförmige Sonnenfinsternisse immer nur auf einen sehr kleinen Theil der Erde beschränkt sind. Centrale Sonnenfinsternisse ereignen sich für Europa in diesem Jahrhundert noch folgende: 1858 den 15. Mai, ringförmig, in England sichtbar; 1860 den 18. Juli, total in Spanien; 1867 den 6. März, ringförmig im südlichen Italien; 1870 den 22. December, total, im südlichen Spanien, Sicilien u. s. w.; 1887 den 19. August, total für Berlin und dessen Parallele. Totale Sonnenfinsternisse kehren im Durchschnitt für einen gegebenen Erdort erst nach 150 bis 200 Jahren wieder, und die Seltenheit der Erscheinung wird oft noch durch trübe Witterung vergrößert.

Die partialen Sonnenfinsternisse, in denen der Mond die Sonne nicht ganz verdeckt, sondern bald nördlich, bald südlich vom Mittelpuncte der Sonne durch dieselbe geht, werden, wie die partialen Mondfinsternisse, nach sogenannten Zollen gemessen. Begreiflicherweise beginnt und schließt jede totale und ringförmige Sonnenfinsterniß mit einer partialen, und in den Nachbarregionen nördlich und südlich der Linie, welche die Schattenachse auf der Erde beschreibt, ist die Finsterniß stets nur partial. Bei jeder Finsterniß erscheint der Rand des Mondes mit einer Schärfe und Deutlichkeit, wie er bei keiner anderen Gelegenheit wahrgenommen wird, und die Berge und Einsenkungen desselben sind schon in sehr mäßig vergrößernden Fernröhren deutlich sichtbar; aber dennoch ist der Moment des Anfangs und Endes einer Sonnenfinsterniß nur schwer ganz genau wahrzunehmen, weil der erste und letzte Einschnitt des Mondes in den Sonnenrand äußerst flach ist.

Auch der Schattenkegel des Mondes besteht aus einem vollen und einem Halbschatten, welcher, den ersteren von allen Seiten umgebend, noch Sonnenlicht von einem Theile der leuchtenden Scheibe enthält, und physisch genommen sich allmälig ins helle Licht verliert. Es war daher in Obigem nur von den durch den vollen Mondschatten bewirkten Verfinsterungen die Rede, weil der Halbschatten durch keine noch so große Distanz beschränkt ist.

Wenn der Mond 1° 24′ nördliche und südliche Breite im Neulicht hat, so ist dies die kleinste Grenze, bei welcher er noch eine Finsterniß veranlassen kann; ist aber die Mondbreite größer als 1° 35′, so kann keine Sonnenfinsterniß mehr eintreten. Mit anderen Worten, ist zur Zeit des Neulichtes der Mond noch nicht völlig $15^1/_2$ Grade von einem seiner Knoten entfernt, so wird sich noch eine Finsterniß ereignen, niemals hingegen, wenn er in seiner Bahn noch $18^1/_2$ Grad von dem Knoten entfernt ist. Man sieht hieraus, daß die Grenzen der Sonnenfinsternisse viel ausgedehnter, als die der Mondfinsternisse sind, und daß, weil der Ort der Sonne in der Ekliptik zwischen zwei Neumonden sich nur um 29 Grad ändert, bei jedem Zusammentreffen der Sonne mit einem der Mondknoten wenigstens eine Sonnenfinsterniß eintreten muß. Es kann aber auch eine vor und eine nach dem Eintreffen in den Knoten sich ereignen, sobald die Sonne ziemlich mitten zwischen zwei Neumonden einen Knoten der Mondbahn erreicht. Wenn ferner der Neumond ganz nahe mit dem Eintritt der Sonne in einen Mondknoten zusammenfällt, so ist die Finsterniß in irgend einer Gegend der Erde central; deshalb aber kann man von dem zunächst vorausgehenden oder zunächst nachfolgenden Vollmonde nicht erwarten, daß er verfinstert werde. Und umgekehrt, ereignet sich bei einem nahe beim Knoten stehenden Vollmonde eine totale Mondfinsterniß, so werden gemeiniglich sowohl der nächste Neumond vor, als auch der nächste Neumond nach diesem Vollmonde nur von unbedeutenden Sonnenfinsternissen begleitet sein. Diese Betrachtungen zeigen uns ungefähr, wie die Perioden der Wiederkehr ähnlicher Sonnenfinsternisse bestimmt werden können. Sobald nämlich in einem gewissen Jahre eine Sonnenfinsterniß ganz oder doch nahe bei einem der Mondknoten stattgefunden hat, tritt in dem darauf folgenden Jahre der im nämlichen Monat statthabende Neumond 11 Tage früher ein, folglich bei einem Stande der Sonne, der ungefähr 11 Grade hinter dem vorjährigen steht. Aber auch der Mondknoten ist in Folge seiner rückgängigen Bewegung, die unausgesetzt statthat, seitdem um 19 Grad hinter demjenigen Orte zurück,

den er im vorigen Jahre in demselben Monate eingenommen hatte, und der Mond selbst steht folglich beim Neumonde eben dieses Monats etwa 8 Grad von diesem Knoten ab. Die Folge dieser Umstände nun ist, daß die diesjährige Sonnenfinsterniß kleiner als die vorjährige ausfällt. Im zweiten Jahr beträgt der Abstand des Mondes von seinem Knoten schon 16 Grade, und es wird daher bei dem so bestimmten Neumonde noch eine kleine Sonnenfinsterniß erfolgen können.

Die Sonnenfinsternisse sind von mancherlei interessanten Erscheinungen begleitet, welche hier nicht unerwähnt bleiben dürfen. Bei einer ringförmigen Sonnenfinsterniß zieht sich beim Vorrücken des Mondes auf der Sonne diese letztere immer mehr zur Sichel zusammen, die aber, da alsdann der Mond kleiner als die Sonne erscheint, mehr als einen Halbkreis umfaßt, und deren feine Spitzen sich gegen einander neigen. Die Sichel wird stets schmäler, die Spitzen rücken langsam einander näher und fahren endlich plötzlich zusammen. Kurz vorher aber nimmt man zwischen den Thälern und Vertiefungen des Mondrandes getrennte Lichtpuncte wahr. Nach einigen Minuten zerbricht der Ring und die Erscheinungen wiederholen sich in umgekehrter Reihenfolge. Bei totalen Sonnenfinsternissen entsteht in höherem Grade, als bei ringförmigen, ein Dämmerschein ganz eigenthümlicher Art, der zwischen Dämmerung und Dunkelheit bleibt, in seltenen Fällen aber, wenn die Erde eben im Aphel, der Mond im Perigäum ist, dem nächtlichen Dunkel nahe kommt. Der Himmel erscheint grünlichgrau, einzelne am Himmel stehende Wolken erhalten grünliche Ränder, man erblickt oftmals einige der helleren Sterne, und indem die Lufttemperatur merklich sinkt, erhebt sich ein schwacher Wind. Die schwarze Mondscheibe selbst aber ist von einem lebhaft glänzenden, heftig wallenden Lichtringe umgeben, von welchem sich gelbe Strahlen verbreiten und dessen Intensität nach Außen abnimmt. Weil derselbe, wenn der Mond noch nicht vollkommen im Mittel der Sonne steht, sein Centrum nicht im Mondmittel, sondern im Sonnenmittel hat, so folgt, daß er der Sonne angehören muß. Spuren dieses Ringes hat man auch schon bei solchen Sonnenfinsternissen gesehen, die nur beinahe total waren. Diese merkwürdige, nur wenige Minuten dauernde Erscheinung erklärt Bessel aus einer Lichthülle, welche auf 25 bis 35000 Meilen die Sonne umgibt, und welche zu schwach ist, um unter gewöhnlichen Umständen neben dem Sonnenlichte gesehen zu werden, weil sie im Verhältniß zu diesem nicht stark genug ist, doch aber sogleich hervor-

tritt, sobald die Sonne durch den Mond unserem Anblick ganz entzogen wird. Diese Lichtglorie hat man bei der totalen Sonnenfinsterniß am 8. Juli 1832 wieder ausgezeichnet schön gesehen. In demselben Jahr und bei der totalen Sonnenfinsterniß am 28. Juli 1851 ist überdies gleichzeitig von mehreren der geübtesten Beobachter eine höchst merkwürdige Erscheinung beobachtet worden, indem an verschiedenen Stellen des Mondrandes sich rosenroth gefärbte Hervorragungen zeigten, welche von einigen mit Flammen, von anderen mit beschneiten, in hellrosenrothem Lichte strahlenden Bergen verglichen wurden, scheinbar aufsitzend auf dem Mondrande, in Wirklichkeit aber sicher der Sonne zugehörig und jedenfalls von ganz enormer Größe, da sie, um nur überhaupt sichtbar zu werden, wenigstens 8000 Meilen hoch sein mußten. Kurz vor dem Ende der totalen Finsterniß erhob sich an dem Theile des Mondrandes, wo der erste Lichtfunken austreten sollte, eine schmale rosenrothe Schicht, die 1/4 des Mondrandes einnahm, aber als dieser Lichtfunke erschien, zugleich mit den rothen Gestalten und dem Lichtkranze, der den Mond umgab, verschwand. Man nimmt nun über der Oberfläche der an sich dunkeln Sonne drei concentrische Hüllen von etwas verschiedener Natur an, deren eine, Licht und Wärme strahlend, Photosphäre genannt wird (13), und erklärt jene rothen Gestalten für Aufwallungen der dritten Hülle, für wolkenähnliche Massen von außerordentlicher Zartheit, welche von der eigentlichen Photosphäre erleuchtet und gefärbt werden. Arago, indem er diese Hypothese aufstellt, äußert zugleich die Vermuthung, daß das tiefe Dunkel des blauen Himmels auf hohen Bergen bequem Gelegenheit darbieten könne, jene bergartigen Wolken des äußersten Dunstkreises der Sonne häufig zu beobachten. Bei der totalen Sonnenfinsterniß im Jahr 1842 sah man auf freien Plätzen verschiedenfarbige leichte Schatten, ähnlich den Wellen eines Teiches, in zitternder Bewegung vorbeiziehen, eine Erscheinung, welche ohne Zweifel mit dem Lichtkranze in Zusammenhange steht.

Es ist bekannt genug, daß totale Sonnenfinsternisse noch jetzt bei vielen Völkern eine abergläubische Furcht einflößen, welche zu den oft sonderbarsten Erklärungen des Phänomens ihre Zuflucht nimmt; aber auch unter uns wird das magische Dunkel, das sich während derselben verbreitet, noch oft Ursache, daß Mancher von einem unheimlichen Gefühle beschlichen wird. Eine interessante Anekdote, welche dieses Gefühl in der Seele eines Knaben schildert, der noch ganz im Stande der Natur sich befand, theilt Arago mit. Dieser Knabe aus der Gemeinde Sieyes hütete am Morgen des 8. Juli 1842

seine Heerde. Nichts ahnend von dem sich vorbereitenden Ereignisse, bemerkte er mit großer Unruhe, wie bei ganz heiterem Himmel sich derselbe allmälig mehr und mehr verdüsterte. Als die Sonne plötzlich verschwand, fing das Kind, im höchsten Grade beängstigt, an zu weinen und um Hülfe zu rufen. Sowie aber die Sonne wieder ihre ersten Strahlen herabschoß, wurde es durch diesen Anblick beruhigt und rief, die Arme erhebend: „O schöne Sonne!" Der Eindruck dieser so seltsamen Begebenheit auf die Thierwelt ist höchst eigenthümlich. Jene Vorempfindung, wodurch die Thiere bei den Witterungsveränderungen, wie bei denen der Tages- und Jahreszeit stets so sicher geleitet werden, ist ihnen natürlich für dieses Phänomen versagt, und sie gerathen, wenn die Sonne total verfinstert wird, in die größte Angst und Verwirrung: Vögel fliegen unruhig hin und her und suchen zuletzt ihre Nester, Hähne krähen, wenn die Sonne fast ganz verfinstert ist, schweigen bei der totalen Finsterniß, und fangen einstimmig wieder an zu krähen, wenn einige Sonnenstrahlen aufs Neue hervortreten, Pferde, Kühe und andere Thiere, die auf der Weide zerstreut sind, drängen sich beim Verschwinden des letzten Sonnenstrahls zusammen, als gäbe es einen Kampf zu bestehen, Ameisen werden in ihrer geschäftigen Thätigkeit gehemmt, und so zeigen noch andere Thiere ihre Ueberraschung bei einem Ereigniß, welches den gewohnten Lauf der Natur zu unterbrechen scheint. Auch die Pflanzenwelt bleibt davon nicht ganz unberührt; denn man hat beobachtet, daß Winden, Mimosen und andere für das Licht sehr empfängliche Pflanzen sich schließen und einige Zeit nach der totalen Finsterniß sich wieder öffnen. Weil bei einer totalen Finsterniß das Thermometer sinkt, so ist es leicht erklärlich, wenn man am Morgen des 8. Juli 1842 gleich nach der totalen Dunkelheit in mehreren Gegenden einen starken Thau fallen sah.

Physische Einflüsse des Mondes auf die Erde.

52. Wir kennen mit Sicherheit nur drei verschiedene Arten der Wirkung eines Weltkörpers auf einen anderen: Anziehung, Erleuchtung und Erwärmung; alle anderen Einflüsse sind entweder nur mittelbare Folgen der drei genannten oder blos scheinbare. Wir haben gesehen (44), daß Ebbe und Fluth des Meeres und der Atmosphäre nothwendige Folgen der Anziehung des Mondes sind. Alt ist der Glaube, welcher dem Monde einen

Einfluß auf unsere Witterung zuschreibt. Man hat sie vielfach bestritten, und dennoch ist sie nicht ganz unbegründet. „Daß das Mondlicht wärmeerzeugend ist,“ sagt Alex. v. Humboldt in seinem Kosmos, „gehört zu den wichtigsten und überraschendsten Entdeckungen unsers Jahrhunderts. Nach vielen vergeblichen Versuchen von La Hire an bis zu denen des scharfsinnigen Forbes, ist es Melloni geglückt, mittelst einer Linse von drei Fuß Durchmesser, die für das meteorologische Institut am Vesuvkegel bestimmt war, bei verschiedenen Wechseln des Mondes die befriedigendsten Resultate der Temperaturerhöhung zu beobachten.“ Wärmestrahlen scheinen mit den Lichtstrahlen eines Weltkörpers unzertrennlich verbunden zu sein. Mondlicht haben wir nun nach Lambert nur 2190 Stunden im Jahr, also die Hälfte der Nachtstunden, und da in den ersten und letzten Tagen des Mondscheins die mit der Dämmerung zusammenfallende Lichtstärke gering ist; so ist begreiflich, daß die von Melloni zuerst aufgefundene Wärmewirkung der Mondstrahlen auf unsere Erde nur gering sein kann. Dennoch ist es Buys Ballot in Utrecht gelungen, dieselbe auch in den periodischen Schwankungen der mittleren Temperaturen unsers Luftkreises nachzuweisen. Durch eine sehr genaue Vergleichung zwanzigjähriger Temperaturbeobachtungen an verschiedenen Orten in Europa hat er ein sehr geringes Steigen und Sinken zwischen den übrigen mannigfachen Aenderungen der Temperatur gefunden, welches von den Mondphasen abhängig zu sein scheint, da es mit denselben der Zeit nach zusammentrifft. Dessen ungeachtet ist der Einfluß des Mondes auf die Witterung wissenschaftlich noch sehr wenig festgestellt. Man hat zwar gefunden, daß während des Apogäums des Mondes das Wetter durchschnittlich etwas heiterer und trockener sei, auch das Barometer höher stehe, als während des Perigäums; aber wenn auch der Einfluß des Mondes auf die Temperaturverhältnisse der Erde nicht mehr zu bestreiten ist, so ist er doch offenbar im Vergleich zu den übrigen Variationen nicht so bedeutend, daß er im Verlauf der Witterung ein entscheidendes Moment bildet.

J. Herschel hält es (nach v. Humboldt) für sehr wahrscheinlich, daß auf dem Monde eine sehr hohe Temperatur herrsche, da seine Oberfläche 14 Tage lang ununterbrochen und ungemildert der Sonnenwirkung ausgesetzt sei. Der Mond müsse daher in einem kleinen Maße eine Wärmequelle für die Erde werden; aber diese Wärme, von einem Körper ausströmend, der weit unter der Temperatur eines brennenden Körpers sei, könne nicht die Erdoberfläche erreichen, indem sie in den oberen Schichten

unserer Atmosphäre absorbirt und verbraucht werde, wo sie sichtbares Gewölk in durchsichtigen Dampf verwandle. Hiernach würde also der Vollmond, bei nicht übermäßiger Wolkenbedeckung, wolkenzerstreuend wirken, und diesen Einfluß des Mondes betrachtet Herschel als eine meteorologische Thatsache, welche durch den sehr allgemeinen Glauben der Seefahrer in den Tropenmeeren bekräftigt sei. Mit dieser Ansicht scheint die gleichfalls sehr allgemeine Behauptung, daß mit dem Eintritt des Voll- und Neumondes die Witterung sich häufiger ändere, als zu anderen Zeiten, in einem gewissen Zusammenhang zu stehen.

Es bleibt uns noch übrig, zweier anderer anerkannten Einflüsse des Mondes auf unseren Planeten kurz zu erwähnen. Wie die Sonne, als Hauptquelle des Lichts und der Wärme, auf der Erde magnetische Kräfte hervorrufen und beleben kann, so hat auch nach den Beobachtungen Kreyl's (24) die Stellung des Mondes einen kleinen Einfluß auf die Richtung der Magnetnadel. Endlich ist nach Arago und Daguerre auch die chemische Wirkung des Mondlichtes merklich, indem es gelungen ist, dadurch einen bleibenden weißen Fleck auf Chlorsilber zu erzeugen; man besitzt auch bekanntlich getreue Mondlichtbilder.

Individuelle Beschaffenheit des Mondes.

53. Bei der verhältnißmäßigen Nähe des Mondes und seinem innigen Verbande mit der Erde war es natürlich, daß man auf dem Monde ähnliche Naturverhältnisse suchte, wie sie die Erde besitzt, und daß man das auf dem Monde Beobachtete nach Analogien mit den Erscheinungen auf der Erdoberfläche zu deuten bemüht war. Allein wenn der Mond räumlich der Erde auch am nächsten steht, so ist er seiner individuellen Beschaffenheit nach doch weit von ihr entfernt, weiter als z. B. Mars, denn genauere Beobachtungen haben auffallende Unterschiede erkennen lassen.

Unter den vier Elementen der alten Physiker fehlt ihm zuvörderst die Luft. In jeder Luftart, mag sie auch noch so dünn sein, wird das Licht gebrochen, d. h. von seinem geraden Wege abgelenkt. Sehr genaue Beobachtungen, welche man bei Sternbedeckungen durch den Mond vornahm,

haben nun erwiesen, daß keine Strahlenbrechung am Mondrande stattⱨat, und daß aus diesem Grunde eine atmosphärische Umhüllung des Mondes sehr unwahrscheinlich ist. Es kann daher von einer Dämmerung auf dem Monde, wie die unsrige, deren Ursache die Atmosphäre ist, keine Rede sein, weshalb der Mondtag, sowie der letzte Sonnenstrahl verschwindet, rasch in Nacht übergeht. „Die Vergleichung der beiden Werthe des Mondhalbmessers (sagt Bessel nach v. Humboldt), welche man einerseits aus directer Messung, andererseits aus der Dauer des Verweilens vor einem Fixsterne während der Bedeckung ableiten kann, lehrt, daß das Licht eines Fixsterns in dem Augenblick, in welchem letzterer den Mondrand berührt, nicht für uns merklich von seiner geradlinigen Bewegung abgelenkt wird. Wäre eine Strahlenbrechung am Rande des Mondes vorhanden, so müßte die zweite Bestimmung den Halbmesser um das Doppelte derselben kleiner ergeben, als die erste; wogegen aber bei mehrfachen Versuchen beide Bestimmungen so nahe übereinkommen, daß man keinen entscheidenden Unterschied je hat wahrnehmen können." Der besonders scharf am dunkeln Mondrande beobachtete Ein- und Austritt von Sternen geschieht plötzlich und ohne allmälige Verminderung des Sternglanzes, woraus folgt, daß keine Lichtbrechung stattfindet, daß also die Mondkugel von keiner gasartigen Hülle, wie unsere Luft ist, umgeben sein kann. Gegen das Vorhandensein einer strahlenbrechenden Umhüllung spricht auch der Umstand, daß wir die Mitte und den Rand des Mondes in völlig gleicher Deutlichkeit erblicken, was nicht möglich wäre, wenn ein lichtschwächendes Medium den Mond umgäbe. Hat der Mond gleichwohl eine Luft, so muß diese so ungemein dünn sein, daß keines unserer Erdgeschöpfe darin auszudauern vermöchte; sie könnte, wie Bessel gezeigt hat, nur etwa $^{1}/_{1000}$ der Dichtigkeit unserer Luft besitzen, aber es liegt gar kein Beweis dafür vor, daß er auch nur dieses $^{1}/_{1000}$ hätte. „Fehlt nun," bemerkt Alex. v. Humboldt, „dem Erdmonde jede gasförmige Umhüllung, so steigen dort beim Mangel alles diffusen Lichtes die Gestirne an einem fast schwarzen Taghimmel empor; keine Luftwelle kann dort tragen den Schall, den Gesang und die Rede. Es ist der Mond für unsere Phantasie, die so gern anmaßend in das nicht zu Ergründende überschweift, eine lautlose Einöde." — Ebenso wahrscheinlich ist es, daß unserem Satelliten auch das Wasser fehlt, sowohl Ansammlungen desselben, als fließendes Wasser in Rinnsalen auf seiner Oberfläche. Denn eine Flüssigkeit kann sich als solche nur unter einem gewissen Luftdrucke erhalten; nimmt man diesen weg,

bringt man z. B. Wasser in sehr stark verdünnte Luft, so verwandelt es sich schnell in Dampf. Hätte der Mond irgend einmal eine unserem Wasser ähnliche Flüssigkeit besessen, so hätte dieselbe längst in Dampf übergehen müssen, da ihm aller Luftdruck fehlt. Aber auch Dämpfe brechen die Lichtstrahlen, und so scheinen auch diese nicht auf dem Monde vorhanden zu sein. Damit fällt die Möglichkeit aller atmosphärischen Niederschläge weg, so daß auf dem Monde weder Wolken, noch Regen, Schnee und Thau möglich sind. Al. v. Humboldt bemerkt, daß Arago in einem bald erscheinenden Werke aus optischen Gründen die wahrscheinliche Abwesenheit des Wassers auf dem Monde herleiten werde. — Der Mangel an Luft schließt endlich noch ein drittes der vier alten Elemente aus, nämlich das Feuer, in der Art wenigstens, wie wir es kennen.

Die Abwesenheit von Wasser und Feuer auf dem Monde folgt consequent aus dem erwiesenen gänzlichen oder fast gänzlichen Mangel an Luft. Ob der Mond immer wasserlos gewesen sei, können wir nicht wissen, ist aber sehr wahrscheinlich, weil auf der Mondoberfläche keine Spur von den zerstörenden und verwitternden Einflüssen von Luft und Wasser zu finden ist. J. Herschel will zwar mit den vorzüglichsten Teleskopen vollkommen ebene Stellen gesehen haben, die er für Alluvialbildungen, also für angeschwemmtes Land hält. Halley und W. Herschel wollen Lichterscheinungen bemerkt haben, die sie für Blitze hielten, oder auf noch thätige Vulcanität bezogen. Allein dies sind Täuschungen, deren Quellen längst ergründet sind, und in dem lebhafteren Reflex des Erdenlichtes liegen, welches gewisse Theile der Erdoberfläche auf die aschfarbene Nachtseite des Mondes werfen.

Fehlen dem Monde Luft, Wasser und Feuer, so besitzt er dagegen ganz unzweifelhaft das vierte Element der alten Physik, Erde. Weil aber das specifische Gewicht des Mondes im Ganzen nur etwa der Dichtigkeit der Gesteine an der äußeren festen Erdkruste entspricht, während die Gesammtmasse der festen Erde durchschnittlich ungefähr so schwer ist wie Eisen; so kann die chemische Zusammensetzung des Mondkörpers nicht genau so sein, wie die der Erde. Indessen trifft die angegebene Differenz möglicherweise nur die quantitativen Verhältnisse der Zusammensetzung, und könnte sich recht wohl mit qualitativ ganz gleichen Bestandtheilen vertragen, wenn die schwerern Elemente in geringerem Verhältniß vorhanden wären als bei uns. Damit ist aber auch nur von einer Möglichkeit gesprochen, die in Wirklichkeit ganz unerfüllt sein kann.

Was wir von der individuellen physischen Beschaffenheit des Mondes am besten kennen, ist seine Oberfläche, von der wir gute Karten, von einzelnen Theilen sogar Lichtbilder von wunderbarer Treue besitzen. Weil einzelne Gegenden der erleuchteten Mondscheibe einen sehr verschiedenen Lichtreflex zeigen, und weil an dem inneren Rande gegen den aschfarbenen Theil hin eine scharfe Abgrenzung in den Mondphasen mangelt; so kam man schon im Alterthum auf die richtige Ansicht, daß die Mondoberfläche voller Unebenheiten sei, und vermuthete in den Flecken theils Klüfte und Thäler, theils Berge, welche lange Schatten werfen. Mit bloßen Augen sind, nach A. v. Humboldt, unter günstigen Verhältnissen in der Stellung des Mondes bei der Heiterkeit unserer Atmosphäre erkennbar: der Rücken des Hochlandes der Apenninen, die dunkle Wallebene Grimaldi, das abgeschlossene Mare Crisium, und der von vielen Bergrücken und Kratern umdrängte Tycho. Da zur Zeit des Vollmondes sich die halbe Seite unsers Satelliten ganz und auf einmal darstellt, so hat man eine auf wirkliche Beobachtung gegründete Topographie derselben erlangt, welche in orographischer Beziehung unsere Kenntniß des inneren Afrika und Asien übertrifft.

In der Regel sind die dunkleren Theile der Mondscheibe die flächeren und niederern, die hellen, viel Sonnenlicht reflectirenden die höheren und gebirgigen. Kepler's alte Bezeichnung beider als Meere (Sümpfe) und Land ist längst aufgegeben. „Von den niederen Ebenen finden sich die größeren Flächen in dem nördlichen und östlichen Theile. Die meiste Ausdehnung (90000 geographische Geviertmeilen) hat unter ihnen der nicht scharf begrenzte Oceanus Procellarum. Mit dem Mare Imbrium (16000 G.-M.), dem Mare Nubium und einigermaßen mit dem Mare Humorum in Verbindung stehend und inselförmige Berglandschaften (die Riphäen, Kepler, Copernicus und die Karpathen) umgebend, bildet dieser östliche dunklere Theil der Mondscheibe den entschiedensten Gegensatz zu der lichtstrahlenden südwestlichen Gegend, in welcher Berge an Berge gedrängt sind. In der nordwestlichen Region zeigen sich zwei mehr geschlossene und isolirte Becken, das Mare Crisium (3000 G.-M.) und das Mare Tranquillitatis (5800 G.-M.)." Die Farbe der sogenannten Meere ist bald grau, bald grün, seltener blaßröthlich. Ringflächen ohne Centralberge zeigen meist eine dunkel stahlgraue, in's Bläuliche spielende Farbe. Während die gebirgigen Theile der Regel nach hell erscheinen und Aristarch z. B. mit seinen in der Nachtseite bisweilen fast sternartig leuchtenden Puncten die hellste und

glänzendste Stelle des Mondes ist, so sind dagegen die großen Wallebenen Plato, nördlich vom Alpengebirge, noch mehr Grimaldi in der Aequatorialgegend und Endymion am nordöstlichen Rande die drei dunkelsten Stellen der ganzen Mondscheibe. Die Umgegend des Vitruvius, eines über 4000 Fuß tiefen Ringgebirges, zeichnet sich durch ein besonders reiches Farbenspiel aus, vom dunkelsten Stahlgrau mit bläulichem Schimmer bis zum hellsten Weingelb finden sich alle Nüancen. Bemerkenswerth ist es auch, daß zwei Berge von gleicher Form und Größe neben einander, welche in der Nähe der Lichtgrenze gesehen, zu einer Zeit, wo ihre Schatten lang sind, gar nicht durch ihre Helligkeit von einander unterschieden werden können, gewöhnlich zur Zeit des Vollmondes, wo sie keine Schatten werfen, so ungleich hell erscheinen, daß der eine eine glänzende Stelle bildet, während der andere nicht mehr von seiner Umgebung zu unterscheiden ist. Die einzelnen Ursachen der verschiedenen Farbentöne sind sehr räthselhaft; was dagegen die ungleiche Leuchtkraft der helleren und dunkleren ebenen Stellen betrifft, welche letzteren sich der genaueren Betrachtung fast eben so uneben als die helleren darstellen, so scheint dieselbe weniger von ihrer Form, als von der Fähigkeit, das Licht zu reflectiren, abzuhangen; wie auch auf der Erde, unabhängig vom Grade der Unebenheit, Unterschiede der Lichtreflexion beobachtet werden, je nachdem die Oberfläche mit Vegetation bedeckt ist, oder aus zersetzten lockeren Stoffen, oder endlich aus nacktem Fels besteht, der, wenn er heller Kalk=, oder weißer Kreidefels ist, lebhafter leuchtet, als dunkler Schieferfels. Dessen ungeachtet bleibt die Deutung der verschiedenen Farben= und Lichttöne mit Schwierigkeiten verbunden, die wir wohl nie ganz zu heben im Stande sein werden.

Die Gegenden um den Nordpol, welche bloß einzelne ringförmige Berge enthalten, bilden einen großen Contrast mit dem ganz gebirgigen Südpol, an welchem ganze Lunationen hindurch hohe Berggipfel in beständigem Lichte erglänzen (50). Was die besonderen Formen der Mondoberfläche betrifft, so zeigen einige der Meere Kreisform, und diese wiederholt sich fast allgemein in dem gebirgigen Theil der Mondscheibe, besonders in der Gestaltung der ungeheuren Gebirgsmassen, welche die südliche Halbkugel vom Pole bis gegen den Aequator hin erfüllen. Die größeren dieser ringförmigen Gebirge hat man Ringgebirge (die ganz großen Wallebenen), die kleineren Krater genannt, wegen ihrer großen Aehnlichkeit mit der Form vieler Vulcane der Erde. In weitaus den meisten Fällen

umschließt bei den Ringgebirgen ein ringförmiger Wall eine runde Vertiefung; die Krater hingegen sind sehr oft an einer Seite durchbrochen. Von dieser herrschenden ringförmigen Gestaltung machen fast in der Mitte der nördlichen Mondhälfte eine Ausnahme die Apenninen, der Kaukasus und die Alpen, welche in der Richtung von Süden nach Norden als wirkliche Gebirgsketten auftreten. Die verschiedenen Farben- und Lichttöne, sowie die mannigfaltigen Unebenheiten der Mondscheibe können nicht verfehlen, im Fernrohr einen interessanten Anblick zu gewähren. Mädler sagt in dieser Beziehung: „Wohl gibt es großartigere Gegenstände an unserem Firmamente, und ein Nebelfleck, den wir in Myriaden Sonnen auflösen, führt zu erhabeneren und umfassenderen Betrachtungen, als ein Berg oder Krater der Mondfläche; — aber einen schöneren Anblick, als diese letztere, im ersten oder letzten Viertel betrachtet, uns darbietet, sucht man vergebens am ganzen Himmel. Alles erscheint, wenn man ein gutes Fernrohr von hinreichender optischer Kraft anwendet, in einer so überraschenden, prachtvollen Deutlichkeit, und so bestimmt hervorgehoben, wie man es selbst bei terrestrischen Objecten nicht gewohnt ist, und das Schauspiel des Sonnenauf- und Unterganges über einem der größeren Gebirge unsers Nachbarplaneten vermöchte selbst den, der an den Lehren der Astronomie sonst wenig Antheil nimmt, leicht eine Nacht hindurch an's Fernrohr zu fesseln."

Die Höhe der Mondberge, wovon 1095 gemessen sind, wird bestimmt entweder durch die Länge der Schatten, die sie werfen, oder durch Lichttangenten, d. h. durch Bestimmung des Abstandes der in der Nachtseite des Mondes als Lichtpuncte erleuchteten Berggipfel von der Lichtgrenze. A. v. Humboldt findet unter obiger Zahl gemessener Berge 39 höher als den Montblanc und 6 höher als 18000 par. Fuß; nahe am Südpol sind durch sorgfältige Messung der Schattenlänge einzelne Berge über 20000 Fuß hoch gefunden worden. Weil dem Monde ein allgemeines Niveau fehlt, d. h. weil er nicht, wie die Erde in der Meeresfläche, eine Ebene gleichen Abstandes von seinem Mittelpunct hat, so sind diese Höhenwerthe nur relativ, oder Unterschiede der Gipfel von den nächsten sie umgebenden Ebenen. Da nun die höchsten Mondgipfel nur 600 Toisen niedriger sind als unsere höchsten Berge, und der Mond 4mal kleiner ist als die Erde, so ergibt sich hieraus das merkwürdige Resultat, daß die Mondberge $^1/_{454}$, die Berge auf der Erde aber $^1/_{1481}$ des planetarischen Durchmessers betragen. Dieses Ver-

hältniß würde jedoch weniger auffallend werden, wenn wir uns auf der Erde das Meer wegdenken, in welchem Falle z. B. die Cordillere Südamerika's zu einer imposanten Höhe über den Meeresgrund der Südsee sich erhöbe und aus Gipfeln von 20 — 22000 Fuß zu solchen von 35000 und mehr Fuß anwüchse. In den Bergketten des Mondes ragt gewöhnlich ein einzelner Gipfel hoch über alle übrigen empor, und wo sich etwas höhere und ausgedehntere Bergreihen zeigen, erscheinen sie als der schroff abstürzende Rand eines Hochlandes und sind gegen das Tiefland hin meist concav gekrümmt. Ueberhaupt fehlen auf dem Monde die auf der Erde gewöhnlichen Zwischenformen von Berg- und Tiefland fast ganz oder zeigen sich doch nur in sehr beschränktem Maßstabe. Auch findet sich auf dem Monde mehr Isolirung der Erhöhungen als auf der Erde, und man sieht oft hundert von Hügeln und kleinen Bergen auf einem verhältnißmäßig kleinen Raume, zwischen denen entweder gar kein oder ein uns nicht mehr wahrnehmbarer Zusammenhang stattfindet.

Der Wall der **Krater**, wie man die kleineren Ringgebirge genannt hat, ist fast immer einfach und trägt selten einen besonderen Gipfel, die Böschungswinkel sind gewöhnlich noch steiler, als bei den größeren Ringgebirgen, was man daraus erkennt, daß einzelne Krater bis vier Tage nach dem Aufgang der Sonne noch deutliche Schatten zeigen. In manchen dieser Krater erheben sich Centralberge, wie in den größeren Ringgebirgen. Die kleinsten Mondkrater erreichen an Größe des Durchmessers schon die größten Krater unserer Erde, und für die großen des Mondes findet sich auf der Erde der Größe nach nichts Analoges. Die kreisrunde Vertiefung bei den Ringgebirgen und Kratern des Mondes ist fast immer dem Theil einer Hohlkugel vergleichbar und senkt sich im Mittel allemal tiefer ein, als die äußere ebenere Umgebung des kegelförmigen Ringwalles, ungefähr wie der ideale Durchschnitt in Fig. 5, Taf. X, veranschaulicht. — Bald nach dem Aufgang der Sonne sehen diese Krater wie schwarze Löcher aus, da der Schatten sich bei weitem mehr hervorhebt, als die Wälle, welche ihn werfen, und auf dem Monde alle Schatten pechschwarz erscheinen. Rückt der Tag weiter vor, so verschwinden allmälig die Krater, die ohne Schatten sich nicht hinreichend hervorheben können, und nur eine kleine Anzahl derselben bleibt gut sichtbar. Rückt endlich die Sonne in den Meridian der betreffenden Landschaft, so sieht man an der Stelle vieler Krater einen Lichtpunct oder Lichtring, und einige derselben sind von einem ungemein schönen und zarten Glanze um-

schimmert, selten umstrahlt. Nichts ist häufiger, als daß von zwei nahe zusammenstehenden und einander gleichen Kratern der eine im Vollmonde als schöner Lichtpunct glänzt und von dem anderen auch nicht die kleinste Spur gefunden wird. — Die Anzahl der Krater auf der diesseitigen Mondhalbkugel wird auf 40000 — 50000 geschätzt. In manchen Gegenden, wie zwischen Eratosthenes und Copernicus, wimmelt es förmlich von Kratern, die man einzeln kaum unterscheidet. Wie die Nebelflecke des Firmaments nur zum Theil wirklich in einzelne Sterne aufgelöst werden können, dem größeren Theile nach aber nur die Auflöslichkeit ahnen lassen, so ist es auch mit den Kraterhaufen der Mondfläche. In freien Ebenen sind sie am besten zu erkennen, doch scheinen sie in den gebirgigen Gegenden noch häufiger zu sein. Sie kommen im Inneren der Ringgebirge und Wallebenen, fast noch mehr jedoch auf und in ihrem Walle selbst vor; auch auf den Gipfeln einzeln stehender Berge finden sie sich, wiewohl im Ganzen nur selten. — Es gibt endlich Krater, welche zu zweien oder mehreren an einander hängen, so daß der dazwischen liegende Wall allemal zweien gemeinschaftlich ist; in anderen Fällen fehlt an der Berührungsstelle der Wall gänzlich, und ein offener Paß führt aus einer Tiefe unmittelbar in die benachbarte. Diese Form macht den Uebergang zu den sogenannten Rillen, langen und schmalen Furchen ohne erhebliche Krümmung, oft geradlinig durch die Ebene hinziehend. Obgleich sie von 2 bis über 30 Meilen lang sind, so sind sie doch schwer zu erkennen, weil sie meist sehr schmal sind. Sie laufen zuweilen durch kleine Krater hindurch oder dicht an ihnen vorbei, oder ziehen auch selbst über Berge hin, wiewohl sie sich häufiger in ebenen Gegenden zeigen. Größere Ferngläser zeigen mehrere hundert solcher Rillen, deren Ränder ihren Schatten in das Innere werfen, woraus hervorgeht, daß sie graben- oder spaltenartige Vertiefungen sind, welche sich aber keineswegs mit unseren Flußthälern vergleichen lassen, die mit ihren Krümmungen, Zuflüssen und Armen ein ganz anderes Ansehen haben.

Bei den Ringgebirgen hat der Wall ringsherum gleiche Kammhöhe, gleiche Breite des Fußes und ist fast immer geschlossen. Das Innere eines Ringgebirges ist beträchtlich vertieft, bis unter das Niveau der umgebenden Ebene; in einigen Fällen geht dieser Unterschied auf 10000 bis 12000 Fuß. Es müssen daher nothwendig die umgebenden Ringgebirge nach innen schroff abstürzen. In vielen Fällen jedoch zeigen sich unten am inneren Fuß des Hauptwalles Terrassen von geringerer Steilheit. Der innere,

oft sehr enge Raum ist entweder eben, oder es erhebt sich in seiner Mitte noch ein kleiner Centralberg, an dessen Stelle in größeren Ringgebirgen zuweilen ein kleineres Massengebirge mit mehreren Köpfen tritt, oder auch eine kleine Bergkette. Einzelne Centralberge erheben sich bis zu 6000 Fuß über die nächste Umgebung, werden aber vom Ringwalle, der zu 10000, in einzelnen Fällen bis zu 16000 Fuß ansteigen kann, noch bedeutend überragt. Die Tiefe eines Ringgebirges, den Centralberg mit inbegriffen, ist noch lange mit nächtlichem Schatten bedeckt, wenn die Sonne schon den Wall rings herum bescheint und die ganze umliegende Gegend erleuchtet; endlich hebt sich der Centralberg mit seiner Spitze als feiner Lichtpunct aus der Nacht heraus, nach und nach wird auch sein Fuß frei und man erblickt die Terrasse des Walles. In manchen Gegenden des Mondes sind die Ringgebirge so zahlreich, daß sie den ganzen Boden einnehmen und weit und breit kein ebenes Land zu finden ist. Die kleineren Ringgebirge haben im Durchmesser 2—5, die größeren 25—30 geogr. Meilen. Kurze Ausläufer ziehen an mehreren derselben nach verschiedenen Seiten hin, bedeutende Gebirgsketten nehmen dagegen nie auf diese Weise den Ursprung, im Gegentheil ziehen diese oft an Ringgebirgen dicht vorbei, ohne mit ihnen zusammenzuhängen. Was sich mit den Ringgebirgen, von denen der Posidonius Fig. 6 ein Bild vorführt, auf der Erde vergleichen läßt, sind die sogenannten Erhebungskrater, deren größte aber nur $^1/_8$ oder $^1/_6$ von den Ringgebirgen im Monde ausmachen, wie Palma, Santorin und Teneriffa; es läßt sich damit vergleichen der kreisförmige Wall von Kalkgebirgen, der in dem Mürtschenstock, den Kuhfirsten, dem Balfries, Falknis, Calanda in den Schweizeralpen, wie ein colossaler Kraterrand, sich um einen Bezirk rother Conglomerate und Schiefer herumbiegt, mit oft mehr als tausend Meter hohem Absturz gegen das Innere. Das Auffallende dieser Configuration tritt noch stärker hervor, wenn man die spätere Thalausfüllung des Rheinthals und Sarganserbodens durch alpinen Stromschutt sich wegdenkt. (Studer, Geologie der Schweiz I, 425.) Wir müssen uns überhaupt bei dem Mangel von Wasser auf dem Monde die Oberfläche auf demselben ungefähr so vorstellen, wie es die Erde in ihrem primitiven Zustande gewesen ist, als dieselbe noch unbedeckt war von muschelreichen Flötzschichten, wie von Gerölle und Schuttland, das durch die fortschaffende Kraft der Ebbe und Fluth oder der Strömungen verbreitet worden ist.

Eine höchst sonderbare Erscheinung auf dem Monde, mit welcher auf

unserer Erde etwas Entsprechendes aufzufinden schwer hält, sind die schmalen Lichtstreifen, die in schräger Beleuchtung verschwinden, im Vollmonde aber als Strahlensysteme sichtbar werden. Sie ziehen in einer Länge von 30 bis über 100 Meilen ohne allen Unterschied über alle Mondgebilde hin, über Ebenen, Berge, Krater und Rillen in gerader Linie fort, ohne durch diese irgend eine Abänderung zu erleiden. Sie umgeben sieben größere Ringgebirge, im Vollmonde betrachtet, mit einem Nimbus von Strahlen, und bei mehreren anderen wiederholt sich die Erscheinung in geringerem Maßstabe und weniger ausgebildet. Das ausgedehnteste Strahlensystem geht von dem mächtigen Ringgebirge Tycho aus, welches von mehr als hundert solcher radialen Streifen umgeben ist, die oft mehr als 50 und 100 Meilen alle benachbarten Oberflächenformen durchschneiden. Bessel rechnet diese räthselhaften Lichtstreifen, welche keine Bergadern sind, keine Schatten werfen und in gleicher Intensität des Lichtes aus den Ebenen bis zu Höhen von mehr als 12000 Fuß laufen, zu den Erscheinungen, die von stofflichen Verschiedenheiten herrühren, und hält sie für Gesteinarten von bedeutender Weiße; er glaubt, daß ihr Zusammenhang mit den Ringgebirgen darauf hindeute, daß diese Mittelpuncte für die Bildung der Mondoberfläche gewesen seien, indem diese Strahlen den Zug der verschiedenartigen Materie des noch flüssigen Mondes nach diesen Mittelpuncten hin bezeichnen, wo etwas Gährendes zum Ausbruch kam. Cotta vergleicht sie dem Ausgehenden von mächtigen und weitfortsetzenden Gangspalten auf der Erde, die mit einem besonders hellen Gestein erfüllt sind, aber über die Oberfläche gar nicht hervorragen, weil sie von Verwitterungsproducten neuerer Ablagerungen oder von Vegetation überdeckt sind. Das radiale Umstrahlen der Ringgebirge verträgt sich mit einer solchen Hypothese recht wohl. Die Wirkungsstellen der Reaction des flüssigen Inneren auf die feste Mondkruste mögen, wie bei der Erde, oft durch sehr große Zeiträume dieselben geblieben sein, weil in ihnen einmal ein Ausweg gebahnt war. Lange nach der Bildung eines Ringgebirges mögen innere Kräfte auf seinen Boden gewirkt, und wenn er bereits fest war, seine Umgebungen zerspalten haben, die Spalten mit empordringenden Massen erfüllend, die nicht wieder von durch Wasser abgelagerten Gesteinschichten bedeckt wurden, wie das auf der Erde so häufig geschehen ist. Bei Vergleichung der Mond- und Erdoberfläche darf dieser wichtige Unterschied nie vergessen werden; denn der innere und äußere Bau der letzteren würde offenbar und in vieler Beziehung dem der

Mondoberfläche weit ähnlicher sein, als er ist, wenn keine Ablagerung von Absatzgesteinen durch Wasser stattgefunden hätte.

Wir sind mit diesen Betrachtungen der Frage bereits zuvorgekommen, auf welche Weise die Oberflächenformen des Mondes sich gebildet haben mögen, und haben gesehen, daß sich dieselben höchst wahrscheinlich von innen heraus, also auf dem Wege der Eruption, so gestaltet haben mögen, wie wir sie finden. Kein Niederschlag aus Gewässern könnte jemals solche Formen erzeugen und hat sie auch auf der Erde nicht erzeugt; und die wenigen Bildungen auf unserer Erde, welche mit denen des Mondes verglichen werden können, sind entschieden das Werk auftreibender Kräfte des Erdinneren. Mit sehr wenigen Ausnahmen sind die meisten Unebenheiten der Mondoberfläche regelmäßig rund, von Außen von einem steilen Walle umgeben, im Inneren aber kugelförmig vertieft; sie sind, nach Bessel, den Spuren vergleichbar, welche Luftblasen hinterlassen, die in einer durch Wärme flüssig gemachten Substanz, z. B. Pech, vor dem Erkalten aufsteigen, bei ihrem Zerplatzen aber, wegen unzureichender Flüssigkeit der Substanz, die Erhöhungen ihrer Ränder und die Vertiefungen ihres Inneren übrig lassen. Hiernach müßte man also annehmen, daß bei Entstehung dieser Formen die Substanz der Mondoberfläche nicht völlig starr, sondern in gewissem Grade zähflüssig gewesen, und daß allem Anscheine nach diese Substanz durch Gaseruptionen durchbrochen worden sei. Indem sich nun die abgeschiedenen gasförmigen Massen durch gewaltsamen Durchbruch der erkaltenden Mondoberfläche einen Ausweg bahnten, entstanden jene kreisförmigen, nach Innen stark vertieften Erhebungen der Ringgebirge und Krater, welche als Ueberreste gigantischer Blasen erscheinen, deren Ränder, bei noch vorhandener Flüssigkeit der Masse, zum Theil wieder verflossen und dadurch die unregelmäßige Form zusammengesetzter Gebirge annahmen. Mit dieser Vermuthung stimmt gut überein, daß die größeren Ringgebirge und Meere sich stets älter zeigen, als die kleineren Krater, denn eine noch dünnere und weichere Kruste erlaubte größeren Gasmassen gleichzeitig eher den Durchbruch, als die schon etwas dickere und mehr erstarrte; allein obige Hypothese würde auch voraussetzen, daß die an der Mondoberfläche vorherrschende Substanz ihrer Natur nach ziemlich abweichend sein müsse von den Mineralaggregaten, welche die Felsgesteine der Erde bilden. Die Rillen scheinen die neuesten Bildungen der Mondoberfläche zu sein; sie sind wahrscheinlich Spalten, die nicht völlig ausgefüllt sind, weil die empordrängende Innenmasse nicht mehr flüssig genug war.

Die Gasarten, welche jene Durchbrüche veranlaßten und von denen nichts mehr wahrgenommen wird, müssen bei gänzlicher Abkühlung der Mondoberfläche fest geworden sein und sich in diesem Zustande auf derselben niedergeschlagen haben. Das hält Cotta für möglich, um so mehr, als die Bildung neuer Krater auf dem Monde ganz aufgehört zu haben scheint. Ueberhaupt führen die Mondbeobachtungen zu der Ansicht, daß der angeführte Bildungsproceß des Mondes längst vorüber und abgeschlossen sei; denn die verhältnißmäßig kleine Kugel des Mondes mag in ihrem Inneren nicht, wie unsere Erde, eine hohe Temperatur mehr besitzen. Die gut und scharf erhaltenen Formen der Mondgebilde sind unstreitig dem jedenfalls seit langer Zeit stattfindenden gänzlichen Mangel an Luft und Wasser zuzuschreiben, welche beide auf der Erdoberfläche alle Außenformen stets annagen und vermindern. Auch dieser Umstand trifft zusammen mit obiger Erklärung, welche indeß weiter nichts als eine Hypothese ist.

Berichtigungen.

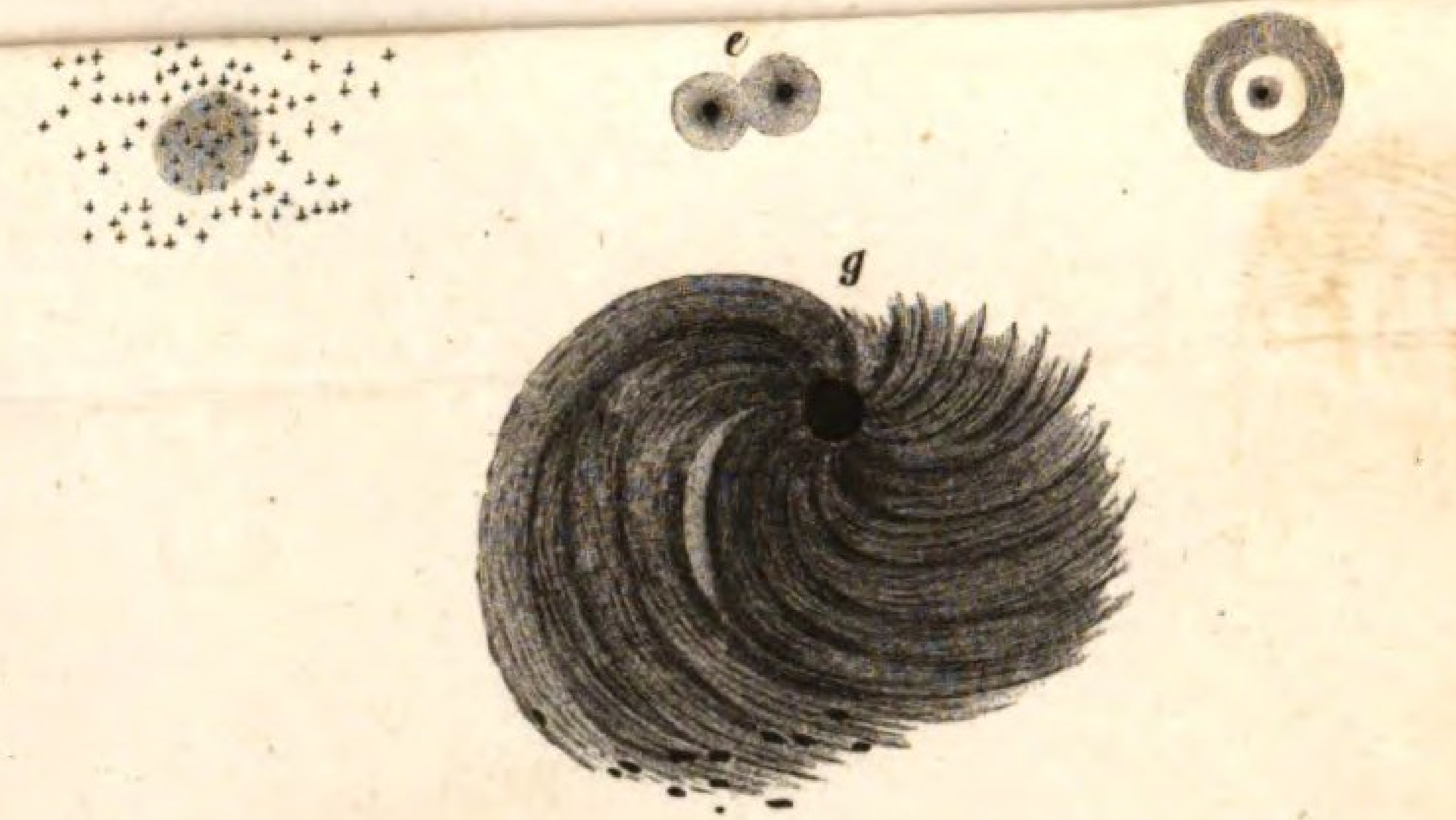
Seite 30, Zeile 22 l. Fig. 11 statt Fig. 10.

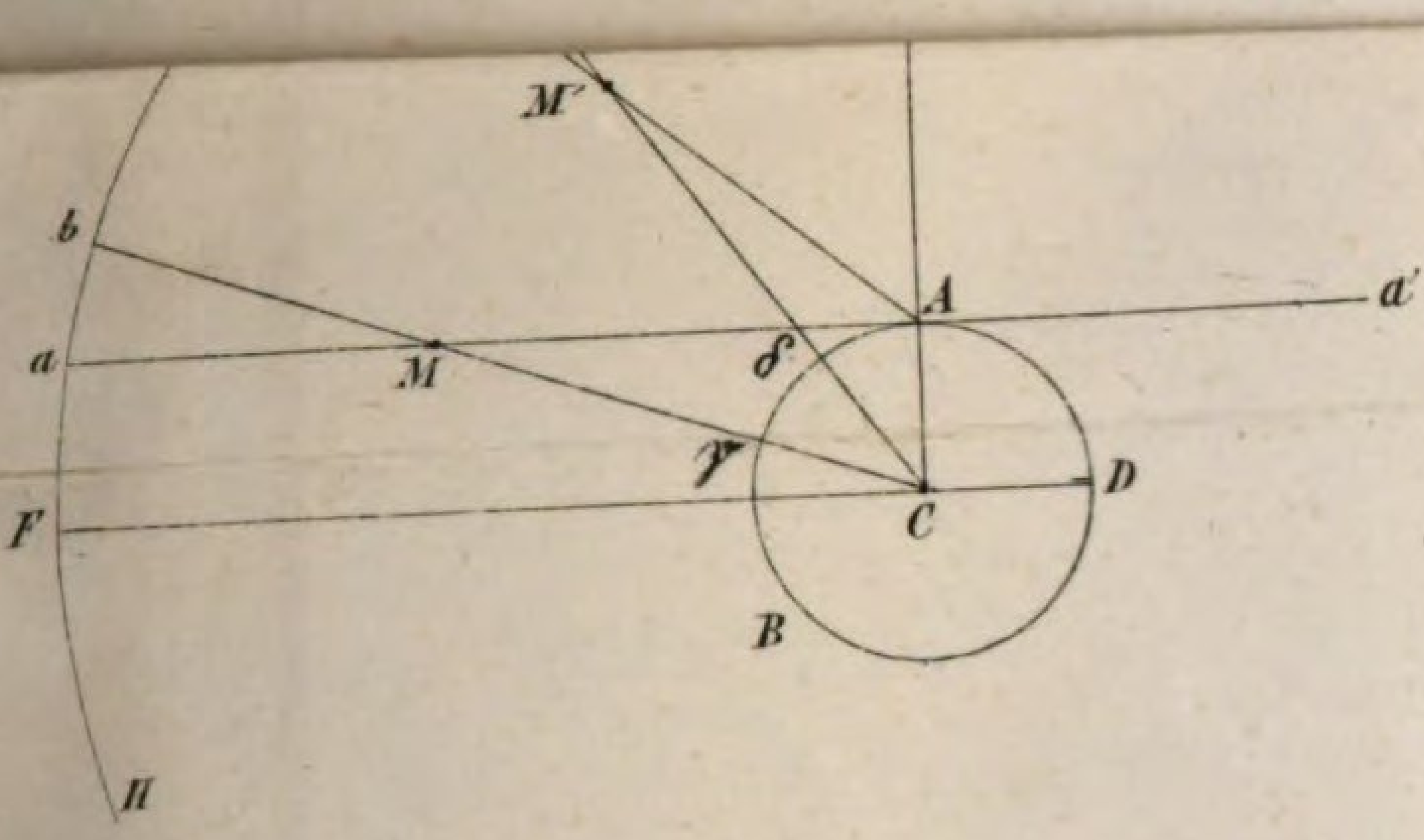
Seite 202, Zeile 9 und 11 von oben l. RHc statt RHC.

" " " 5 von unten l. 40 statt 60.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Fig. 10.





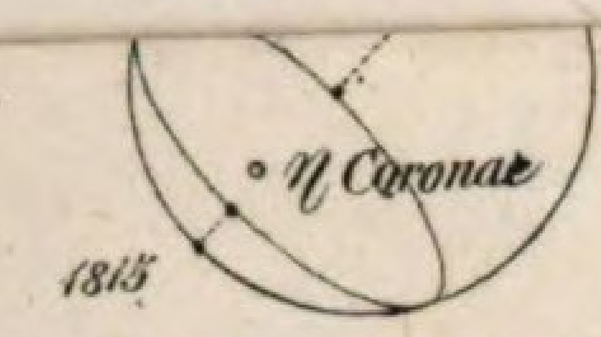


Fig. 14.

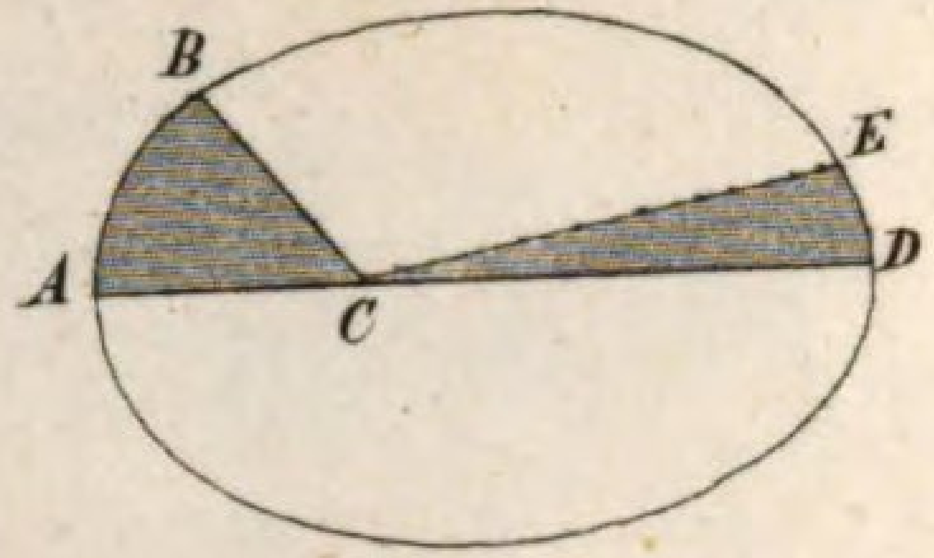


Fig. 13.

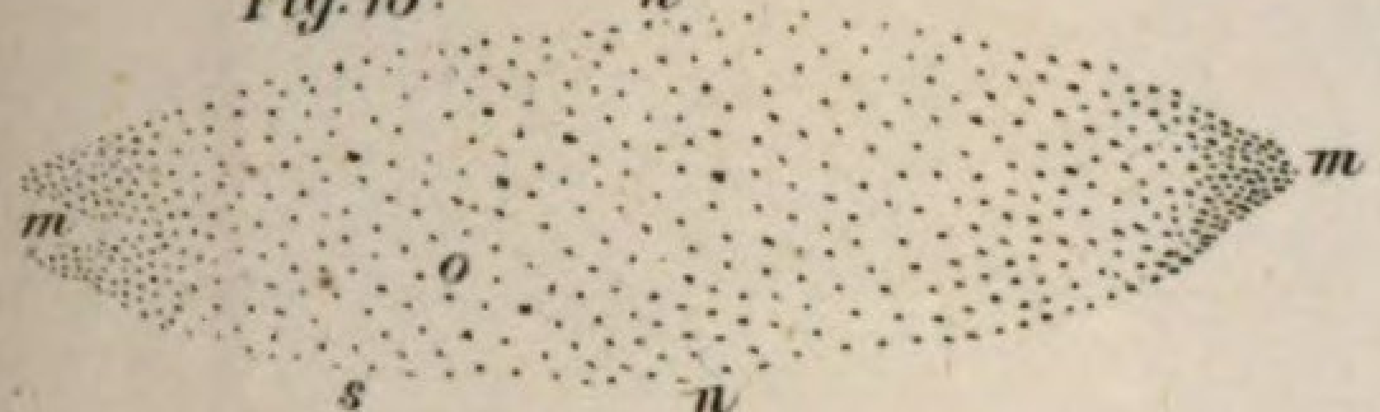
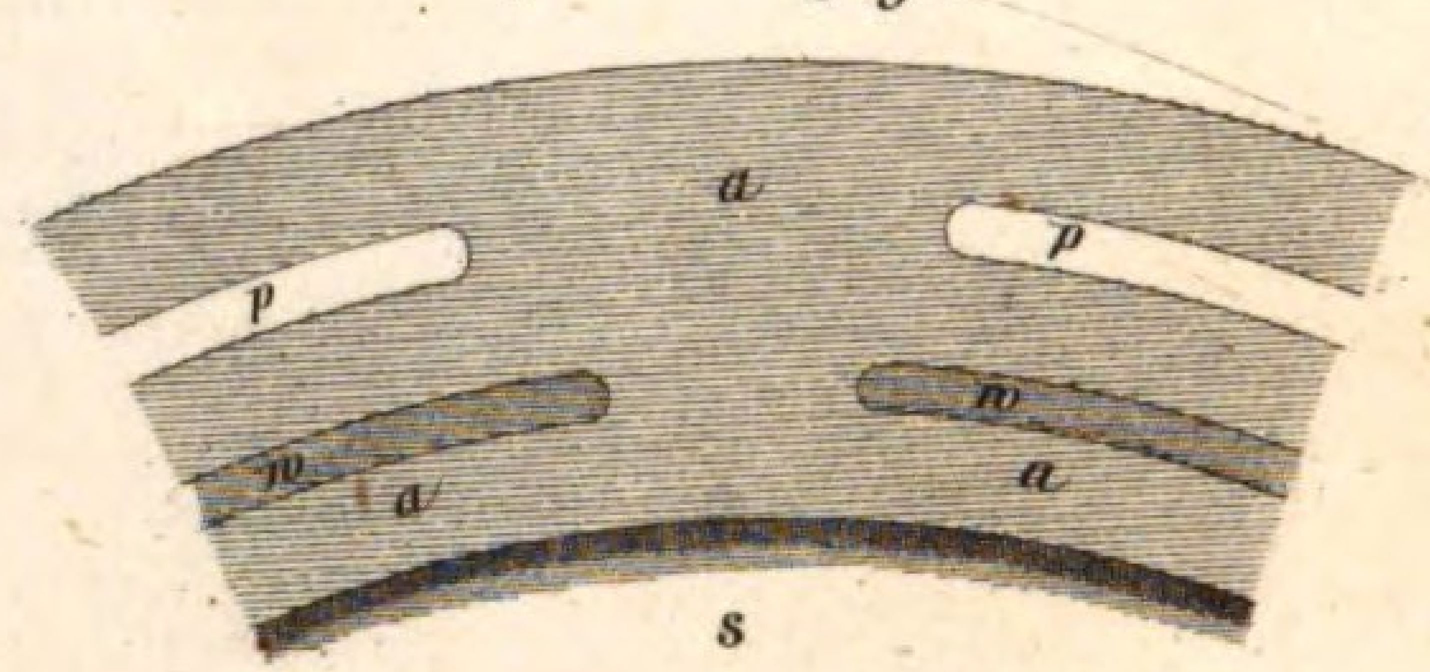
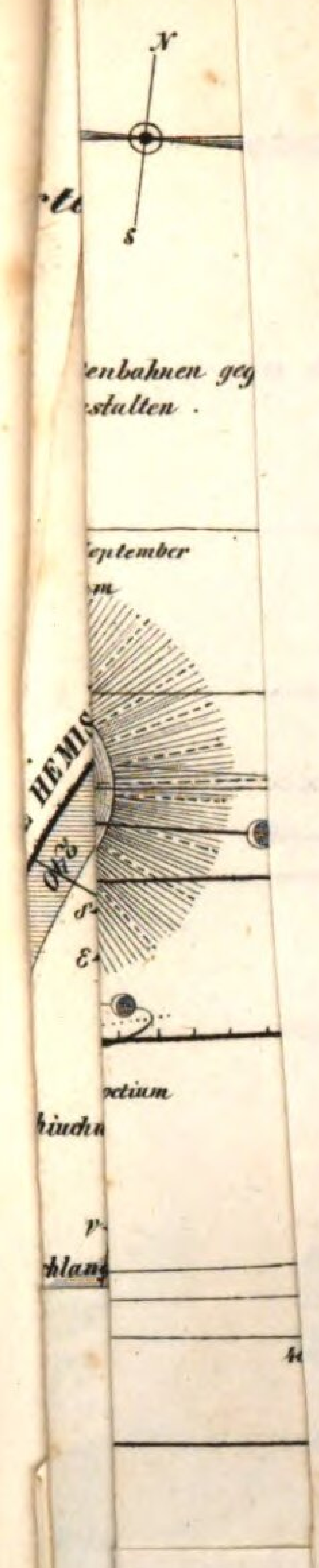


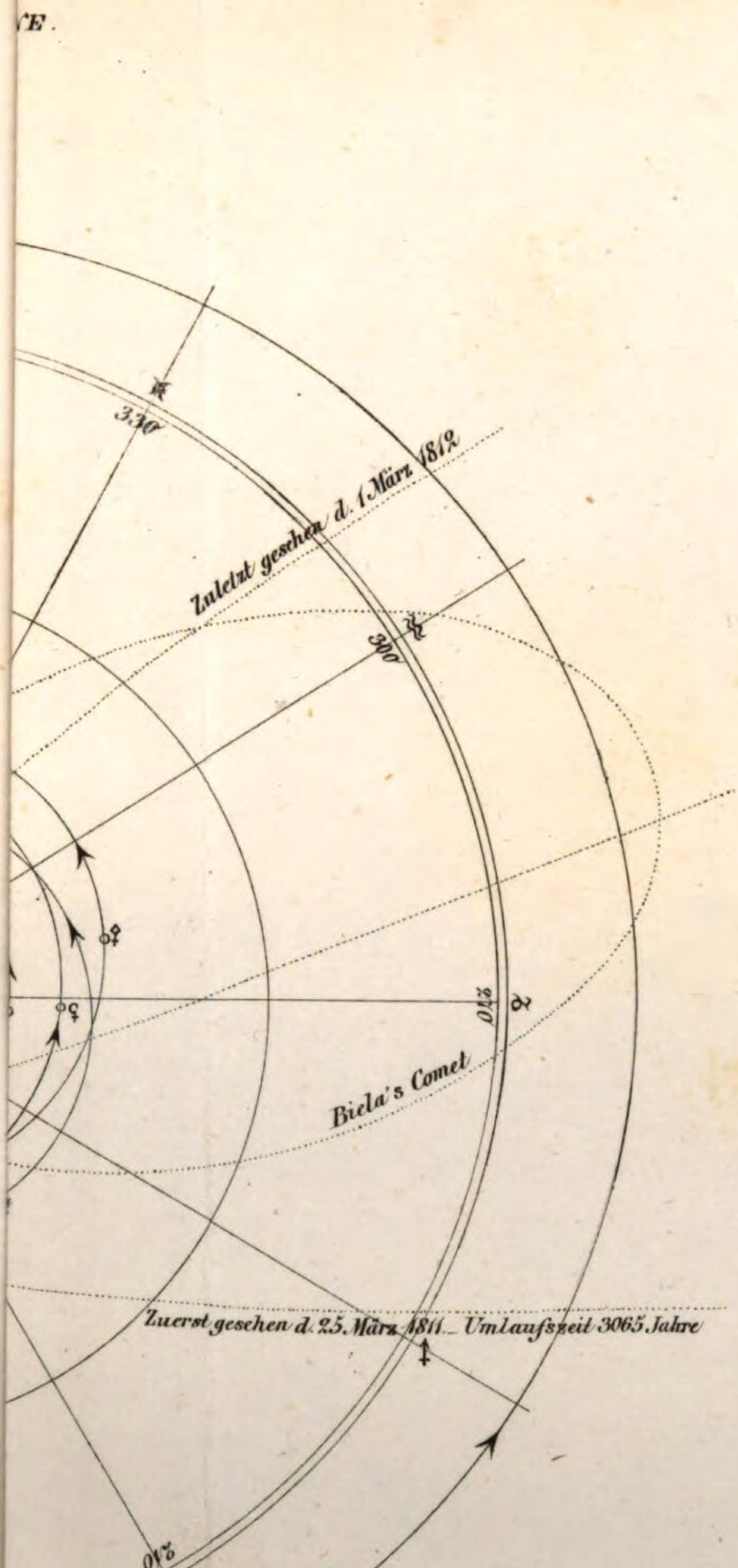
Fig. 15.
Gruppe von Sonnenflecken
vom 15 Juli 1825.



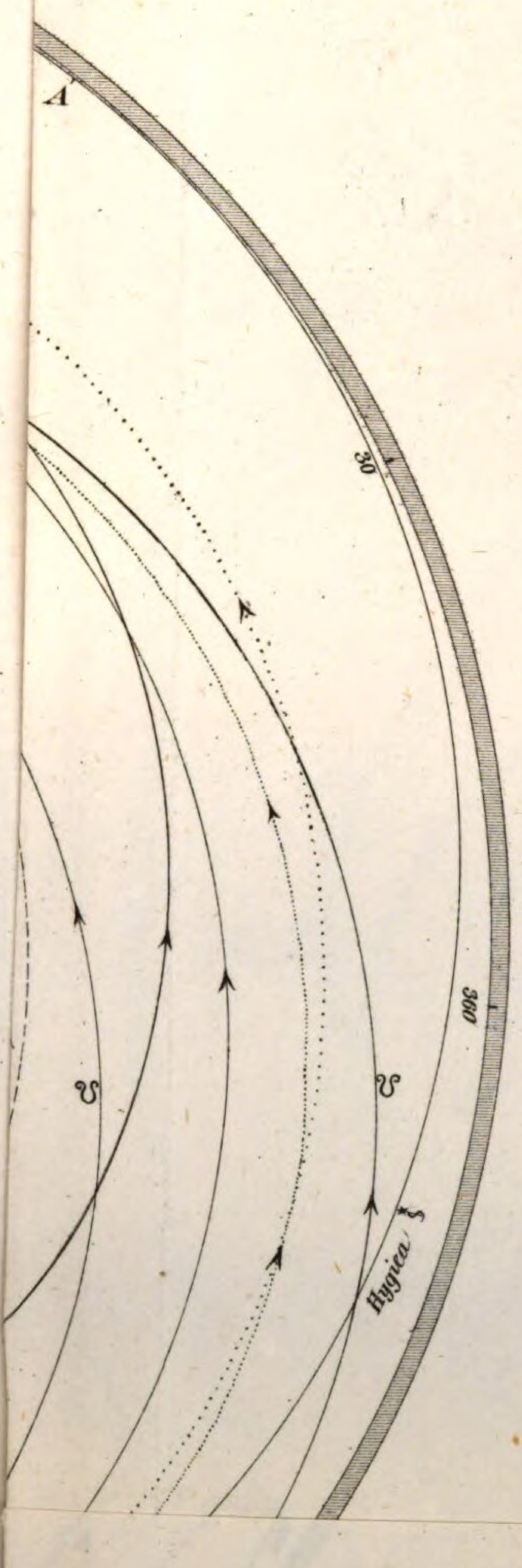
Fig. 16.




N
S
enbahnen geg
stalten .
eptember
HEMIS
octium
hiuchu
chlang



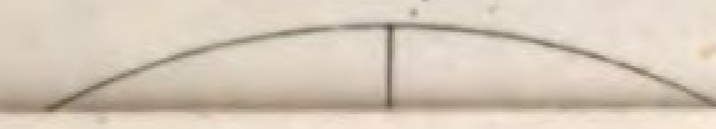
NE.
330
Zuletzt gesehen d. 1 März 1812
300
270
Biela's Comet
Zuerst gesehen d. 25. März 1811. _ Umlaufszeit 3065 Jahre
240

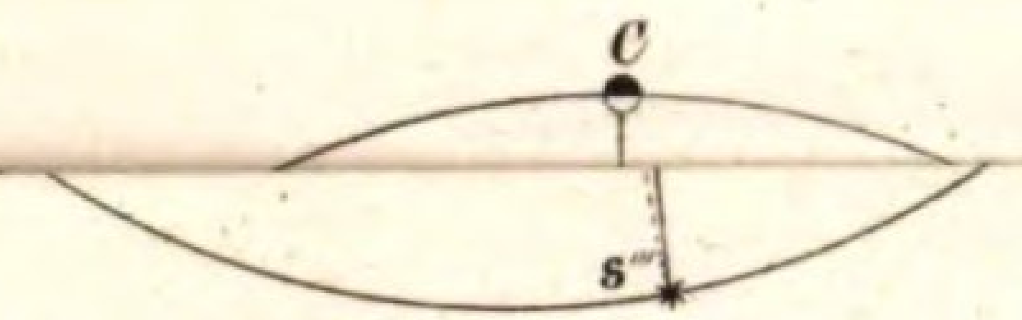

A
30
360
☊
☊
Hygiea

Taf. VI.



Taf. VI.





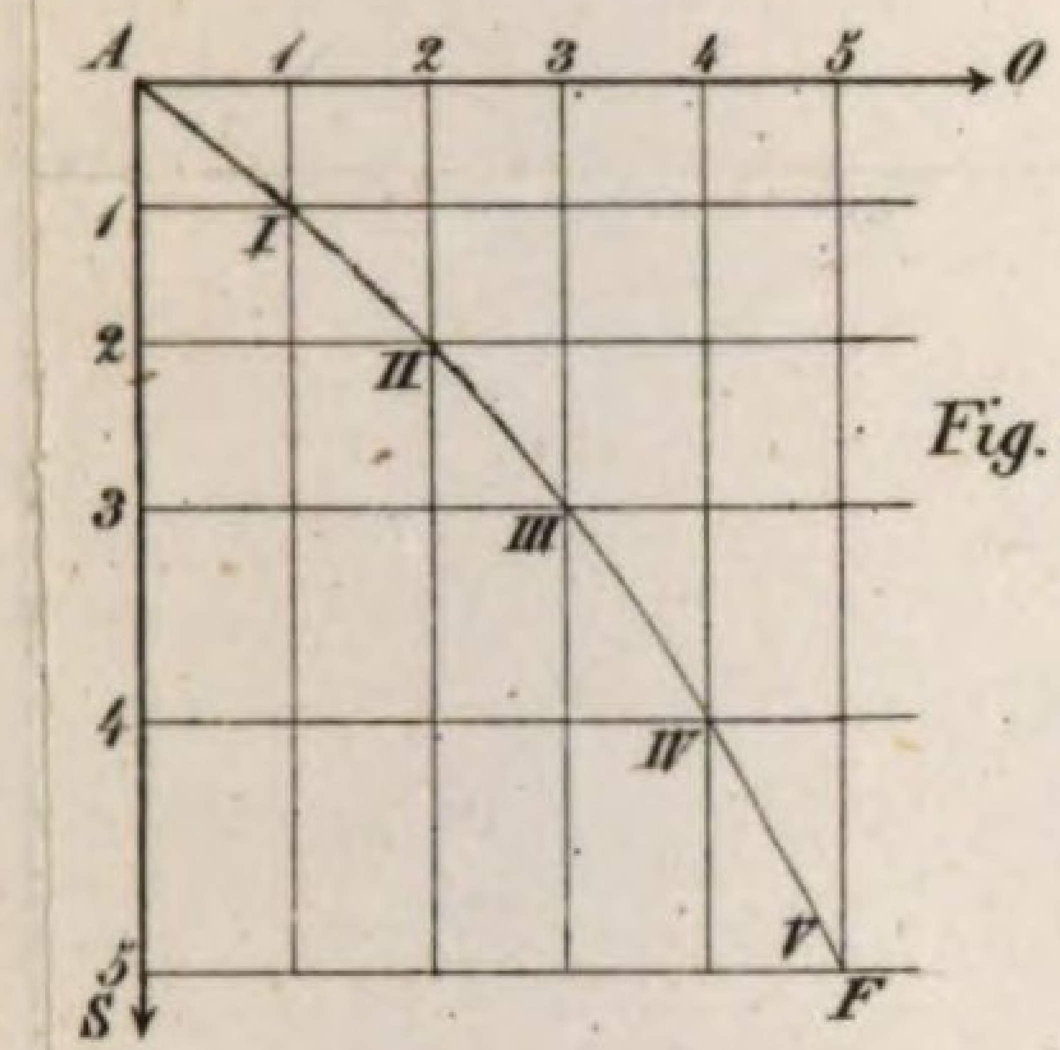


Fig. 10.

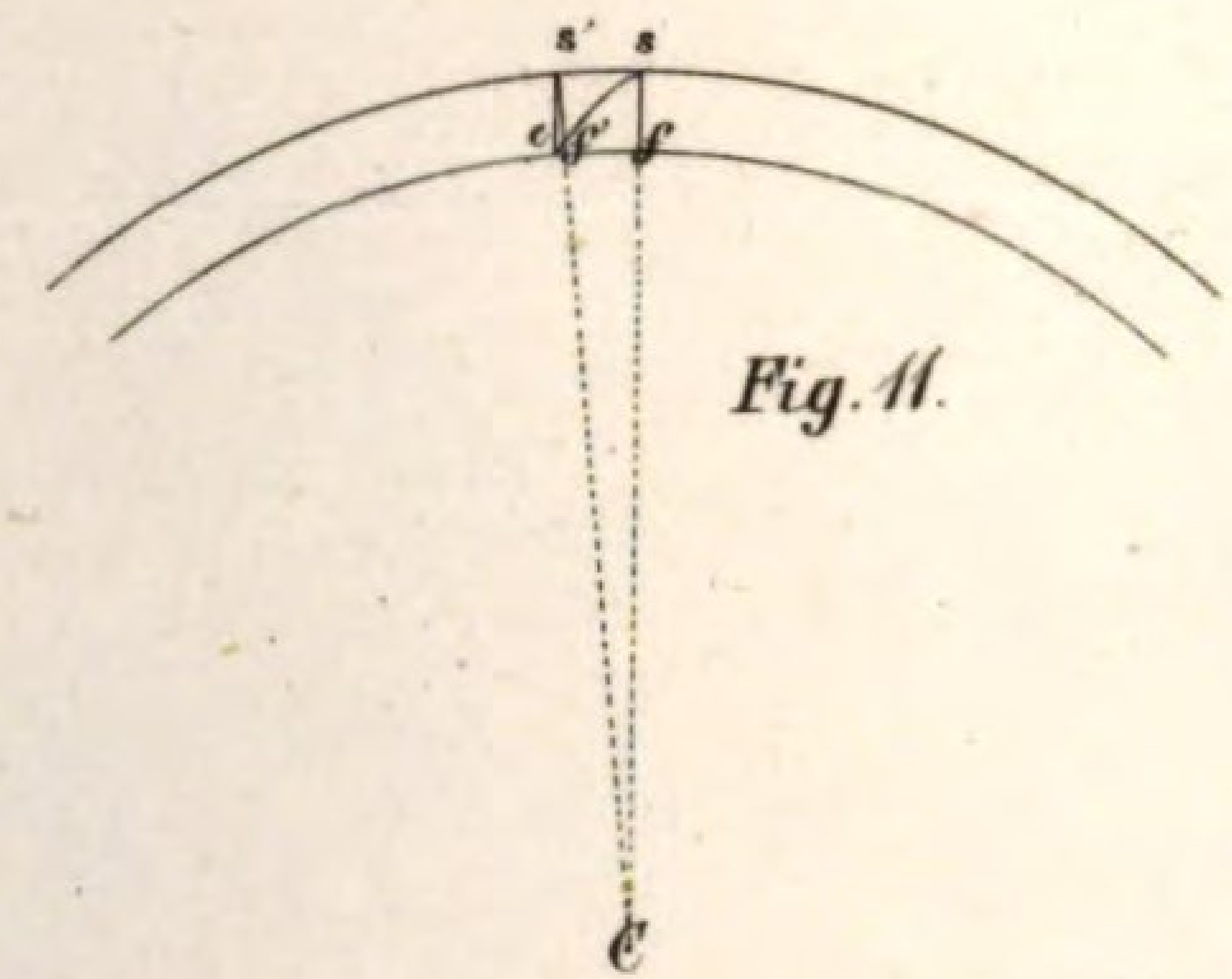


Fig. 11.

Fig. 12.

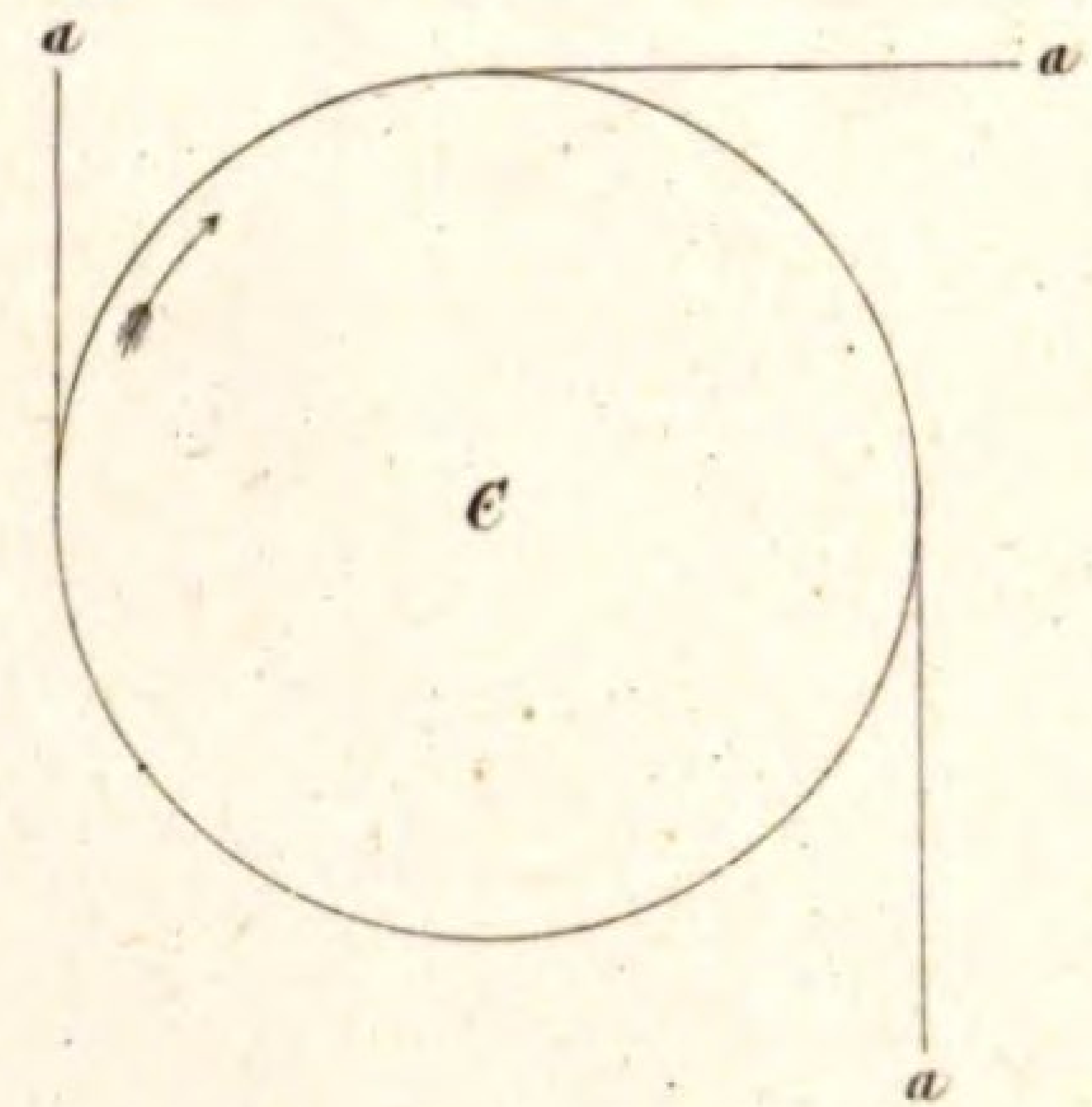
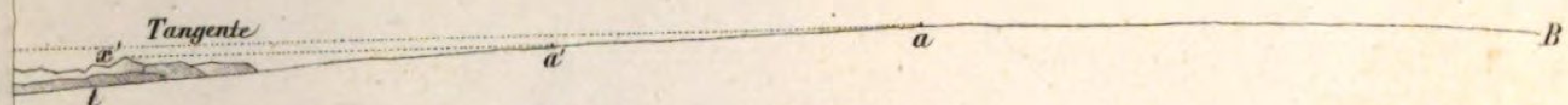


Fig. 13.



Taf. VII.

Fig. 2.



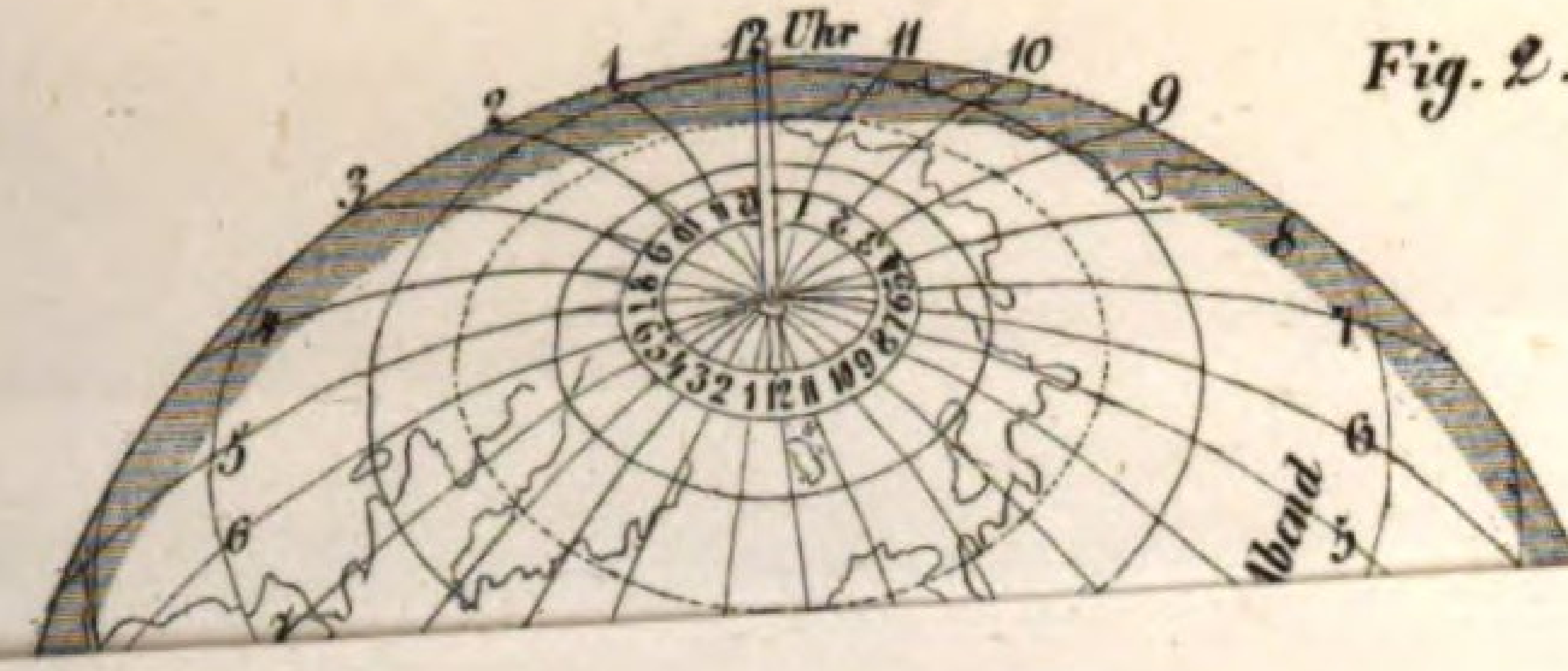


Fig. 2.

Fig. 3.

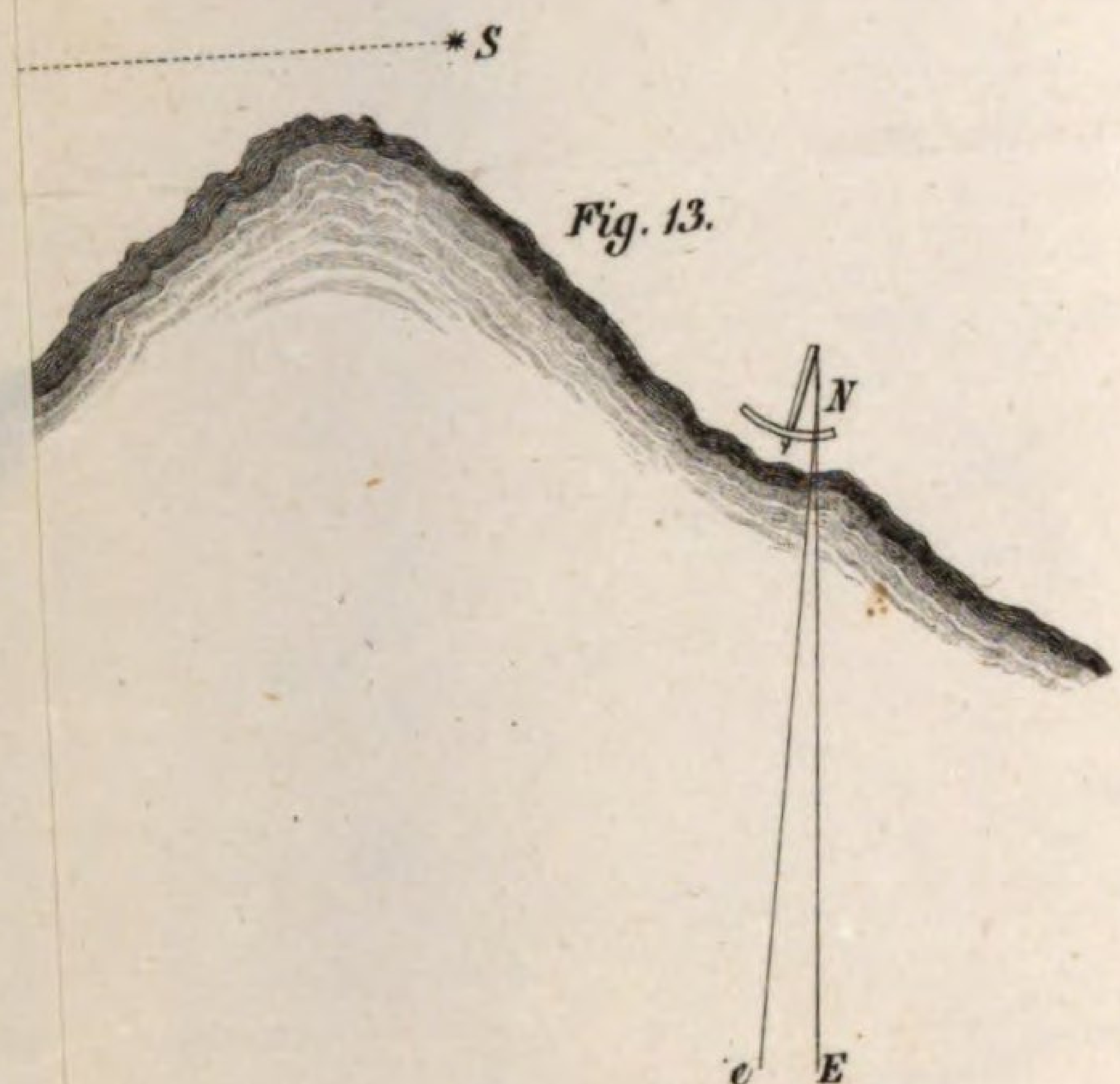


Fig. 13.

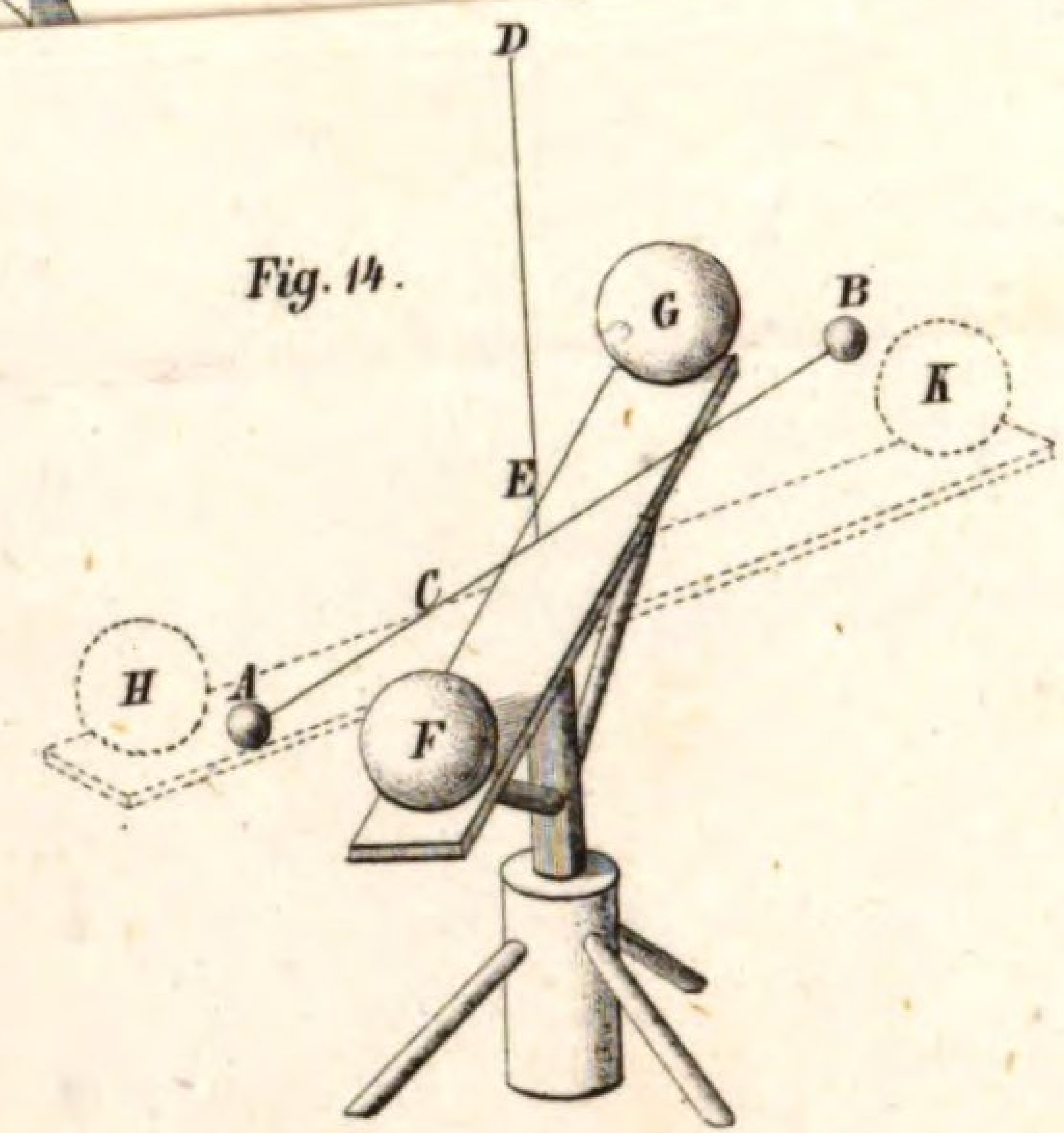
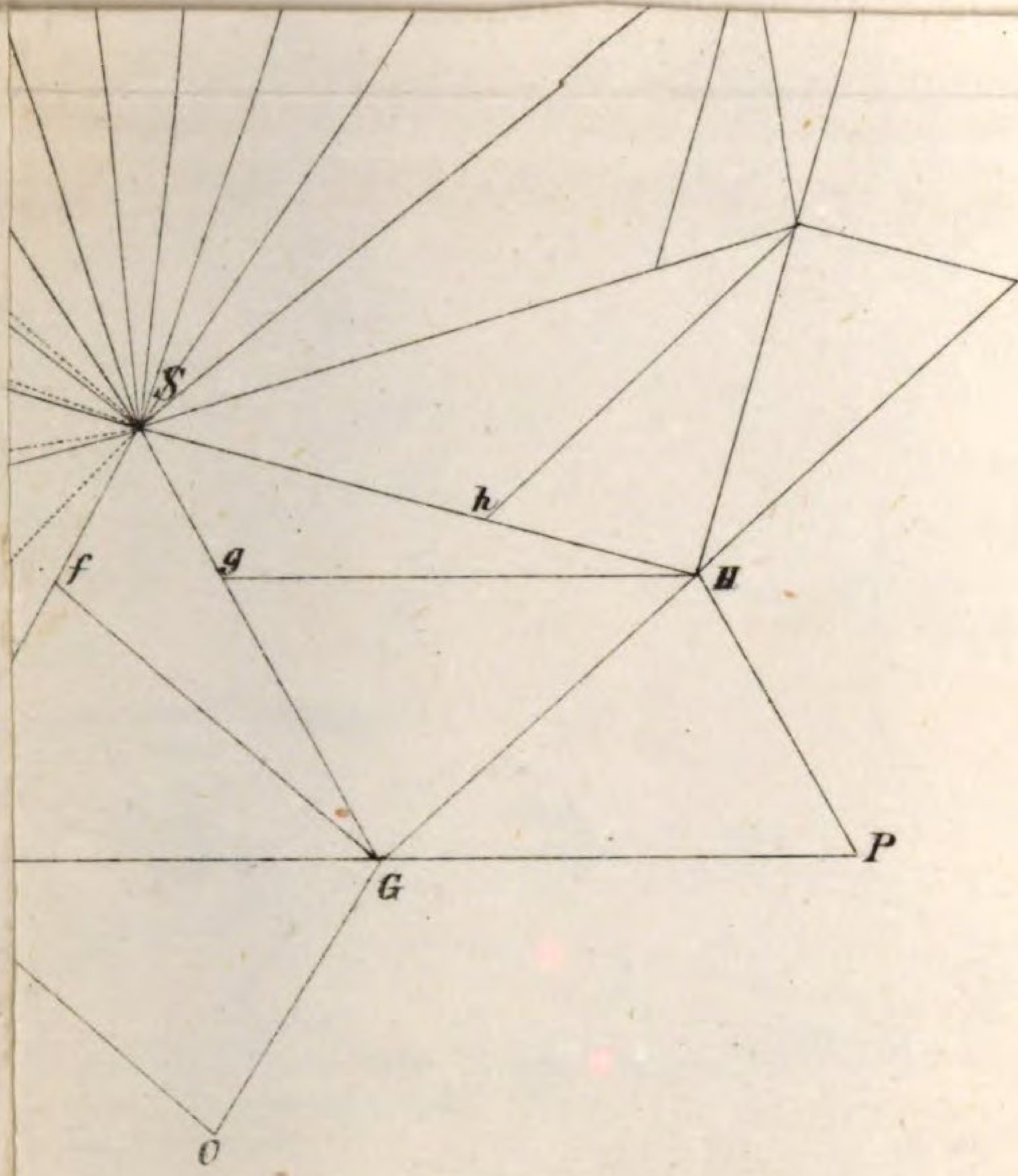


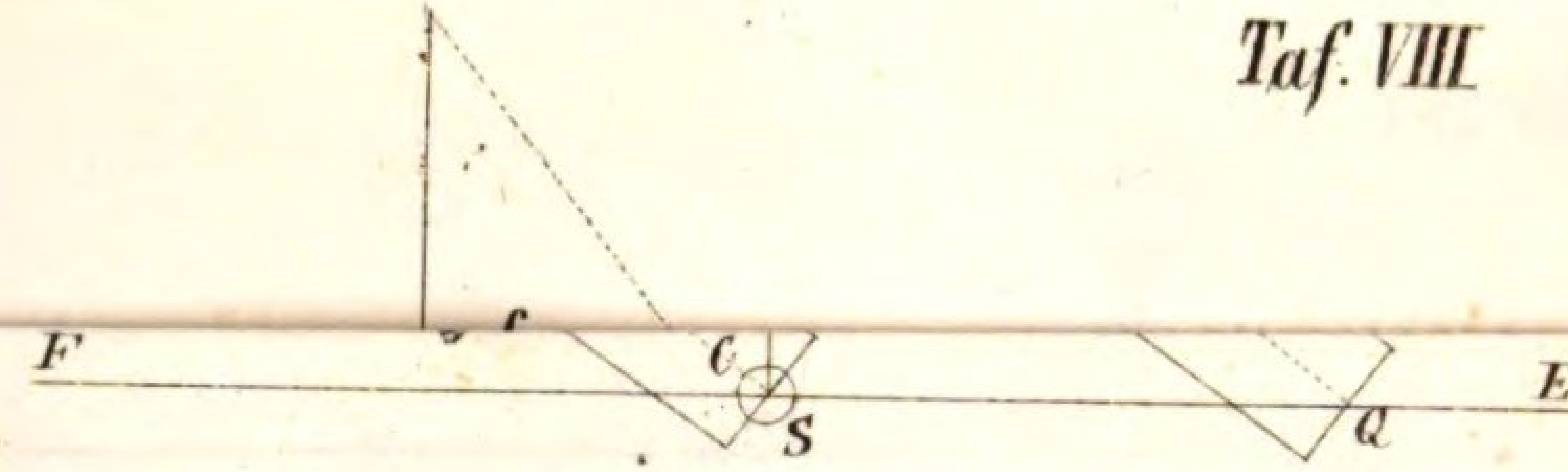
Fig. 14.

Taf. VIII



Taf. VIII





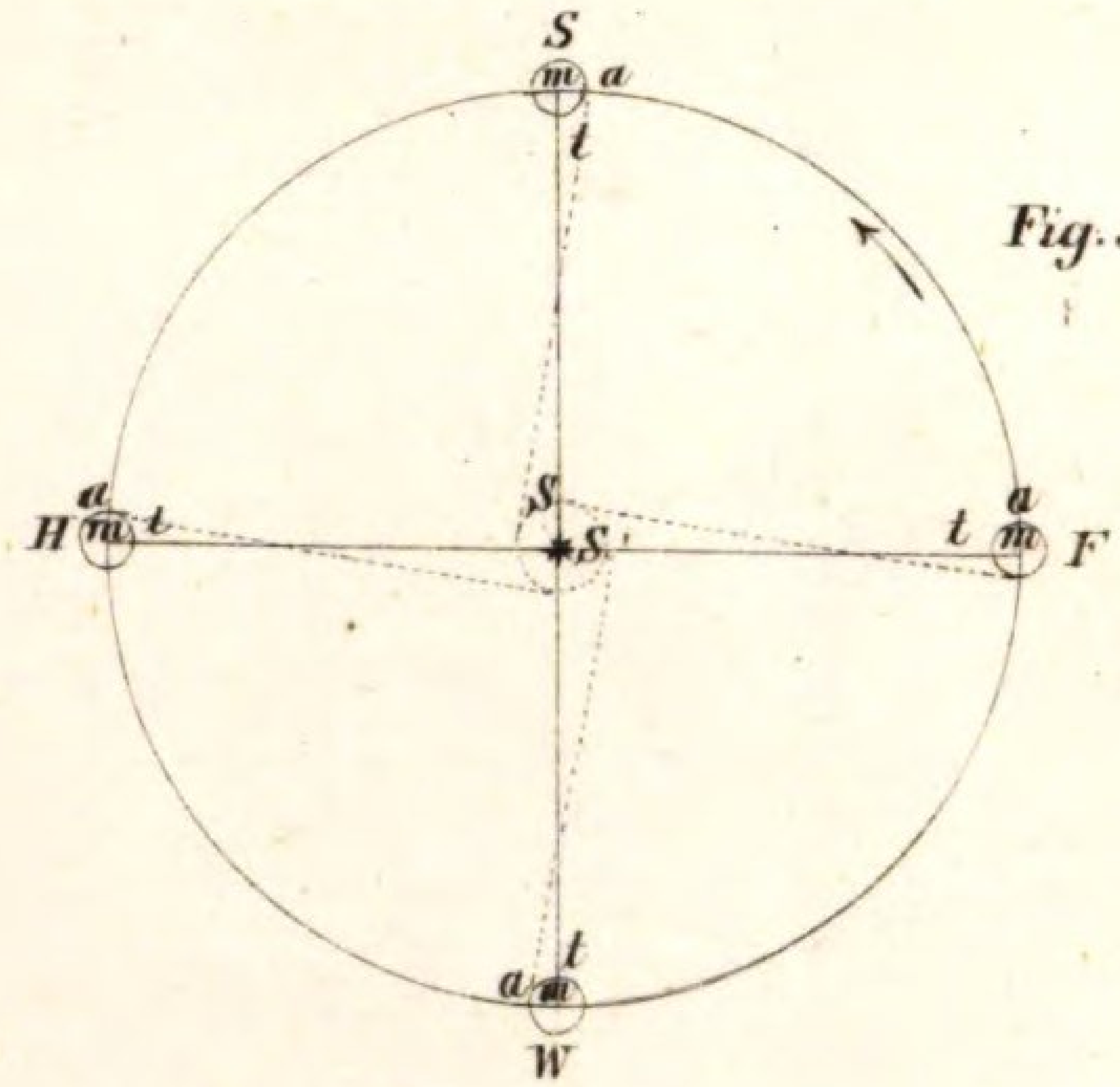


Fig. 9.


Taf. IX

Taf. IX

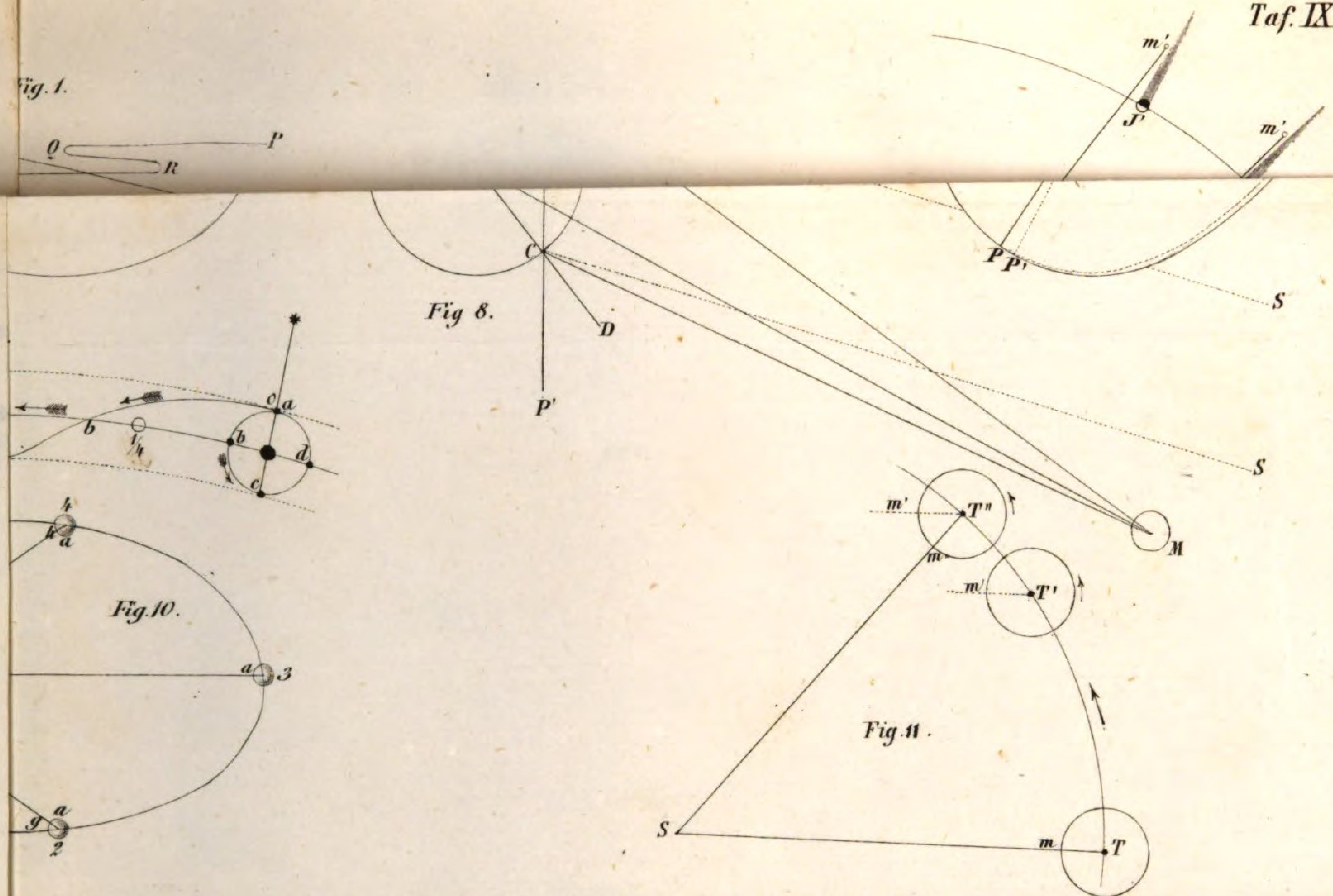


Fig. 1.

Fig 8.

Fig. 10.

Fig. 11.

Taf. X.

Fig. 1.
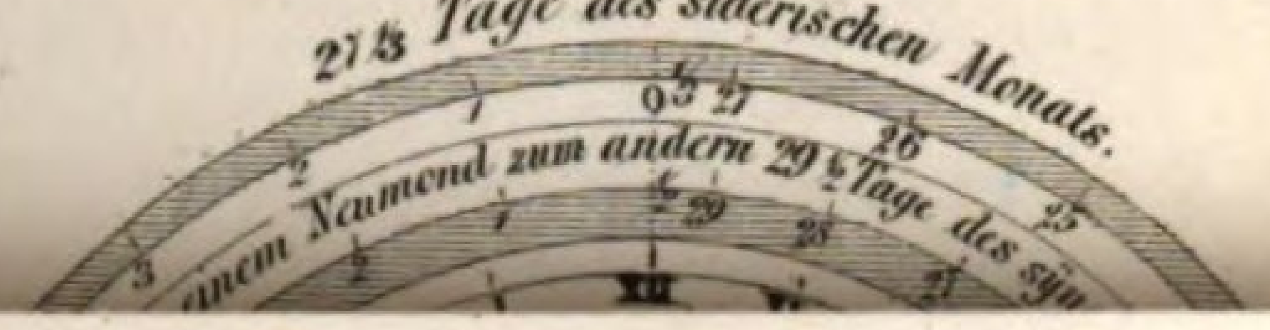




Fig. 5.

Posidonius

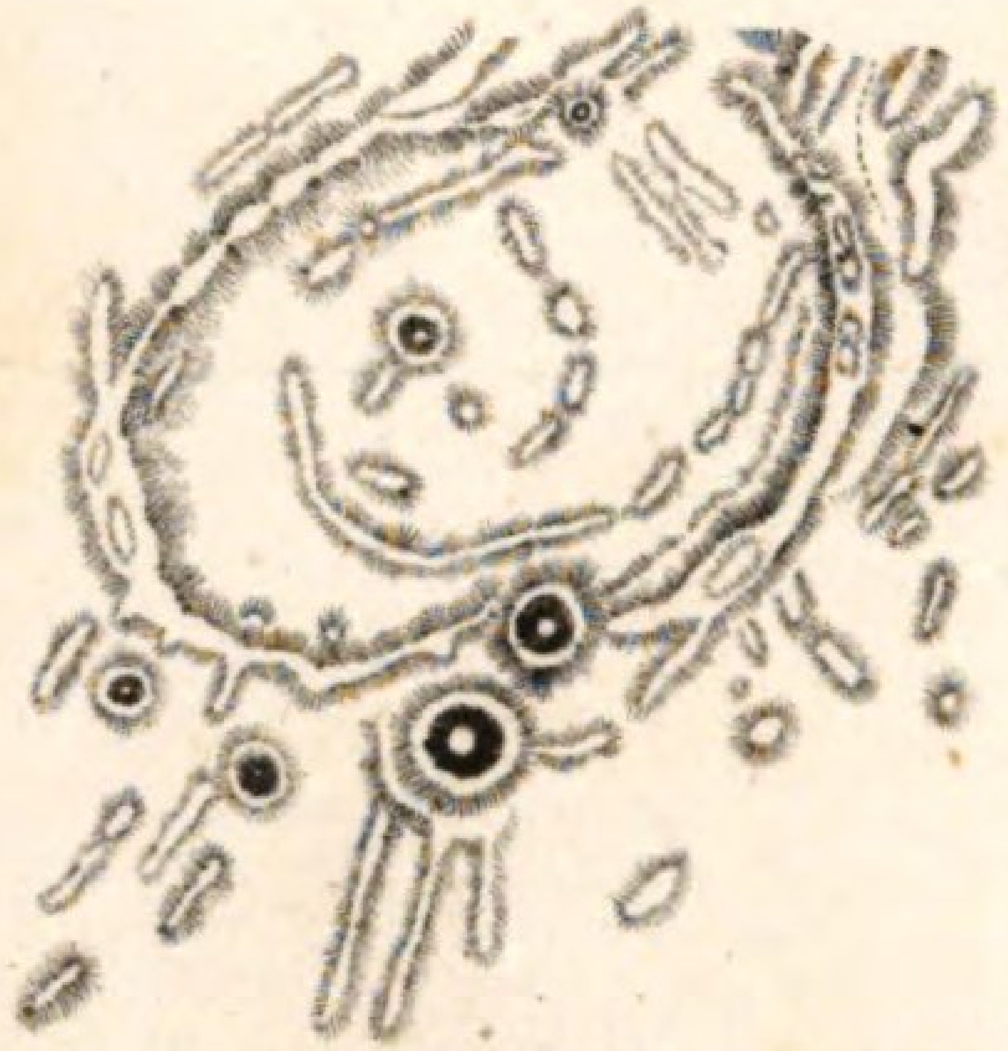


Fig. 6.

Bildungs-Halle im Sinne und Geiste unserer Zeit für alle Stände

Bd.: 4

Leipzig 1853